

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE Tensión PARA UNA MÁQUINA  
LAMINADORA PAÑALERA EN TECNOQUÍMICAS**

**TULIO ANDRES FLOREZ LARRAHONDO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA Y ELECTRONICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA  
SANTIAGO DE CALI  
2011**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN PARA UNA MÁQUINA  
LAMINADORA PAÑALERA EN TECNOQUÍMICAS**

**TULIO ANDRES FLOREZ LARRAHONDO**

**Pasantía Institucional para optar al título de  
Ingeniero electrónico**

**Director  
ÓSCAR FERNANDO ÁGREDO S.  
Ingeniero electrónico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2011**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Industrial.**

**HÉCTOR JOSÉ GÓMEZ**

---

**Jurado**

**DIEGO MARTINEZ**

---

**Jurado**

**Santiago de Cali, Mayo de 2011**

A Dios, por que es la fé en él, la que no me deja desistir de mis objetivos.

A mi madre, por el esfuerzo, la tolerancia y el sacrificio realizado.

A mi hermana, por que es mi modelo a seguir.

A mi padre, aunque su cuerpo no este con nosotros.

## **AGRADECIMIENTOS**

El diseño propuesto en este documento, evidencia mi formación como una persona con criterios suficientes para transformar mi entorno con el fin de resolver una necesidad, por ello doy gracias a las personas que durante mi formación ayudaron de una u otra forma a que ese criterio en este momento sea verídico.

A TECNOSUR S.A. que me brindaron su confianza y apoyo cuando más lo necesitaba para la realización de la pasantía; a la universidad Autónoma de Occidente por cinco (5) años de educación de alta calidad y mi madre que siempre me ha brindado su apoyo incondicional.

<b>Contenido</b>	<b>Pág</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA	14
2. ANTECEDENTES	16
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVO GENERAL	19
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
4. MARCO TEÓRICO	20
4.1. PROCESO DE LAMINADO	20
4.2. CELDAS DE CARGA	22
4.3. TIPOS DE SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN	22
4.3.1. Sistema de control por Dancer ó bailarín.	22
4.3.1. Control por celda de carga.	23
4.3.2. Control análogo de tensión.	23
4.3.3. control electrónico de tensión	24
4.3.4. Requisitos para garantizar un laminado óptimo.	25
4.3.5. Requisitos para gestionar la tensión en procesos de laminado.	26
4.3.6. Dificultades para gestionar la tensión en el proceso de laminado.	26

<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>28</b>
<b>6. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
<b>6.1. ETAPA DE REQUISITOS</b>	<b>29</b>
6.1.1. Estructura de la laminadora 1	29
6.1.2. Requisitos para el diseño del sistema de control de tensión.	32
<b>6.2. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA TENSIÓN .</b>	<b>35</b>
6.2.1. Sistema de supervisión:	35
6.2.2. Especificaciones de la sección de cálculo:	36
6.2.3. Especificaciones de la sección de detección.	37
6.2.4. Especificaciones de la sección de control de tensión.	38
6.2.5. Especificaciones técnicas de los motores del sistema de laminado	42
6.3.1. Etapa de diseño detallado del sistema de control de tensión	44
6.3.3. Diseño detallado de la Sección de cálculo:	46
6.3.4. Diseño detallado de la sección de detección.	54
6.3.5. Diseño detallado de la Sección de control de tensión	58
6.3.5.1 Unidades de referencia de velocidad.	59
<b>6.4. ETAPA DE DISEÑO ARQUITECTURAL.</b>	<b>81</b>
6.4.1. Conexión De Entradas Y Salidas Micrologix 1400(1766-L32bwa)	83
6.4.2. conexión de entradas y salidas de los modulos de expansion	85
6.4.3. conexión de entradas del modulo 1762-if4	86
6.4.4. conexión de entradas i/o del modulo of4	87
6.4.5. Arquitectura de los algoritmos para el control del laminado.	92
<b>6.5. ETAPA DE SELECCIÓN</b>	
<b>100</b>	

<b>6. CONCLUSIONES</b>	
<b>102</b>	
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO</b>	<b>108</b>



## Figuras

	pág
<b>Figura 1 Proceso de laminado</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2 Máquina laminadora de la cubierta de los pañales winny</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3 Diseño asistido por computador de la laminadora 1</b>	<b>1</b>
<b>Figura 4 Sistema de supervision</b>	<b>35</b>
<b>Figura 5 Seccion de cálculo.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 6 Seccion de deteccion</b>	<b>37</b>
<b>Figura 7 Arquitectura del control de tensión con la tarjeta de control.</b>	<b>1</b>
<b>Figura 8 Arquitectura del control tension por plc</b>	<b>41</b>
<b>Figura 9 Sistema de control</b>	<b>44</b>
<b>Figura 10 Sistema de supervision</b>	<b>1</b>
<b>Figura 11 Pantalla de menú principal</b>	<b>46</b>
<b>Figura 12 Pantalla del diámetro del poly.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 13 Pantalla del diámetro de la tela</b>	<b>48</b>
<b>Figura 14 Pantalla del diámetro de laminado.</b>	<b>49</b>
<b>Figura 15 Diagrama de flujo de la subrutina de calculo.</b>	<b>53</b>
<b>Figura 16 Pantalla de alarmas.</b>	<b>54</b>
<b>Figura 17 Diagrama de flujo de la subrutina de detección.(b).</b>	<b>1</b>
<b>Figura 18 Unidades de la seccion de control de tension.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 19 Pantalla de parámetros del control de la tensión.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 20 Pantalla de arranque.</b>	<b>60</b>
<b>Figura 21 Subrutina para el arranque del proceso de laminado.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 22 Subrutina para aumentar la velocidad del proceso .</b>	<b>63</b>
<b>Figura 23 Subrutina para disminuir la velocidad del proceso.</b>	<b>64</b>
<b>Figura 24 Subrutina de parada controlada del proceso de laminado.</b>	<b>65</b>

<b>Figura 25 Bucla del control de la velocidad del motor del poly ó la tela.</b>	<b>66</b>
<b>Figura 26 Pantalla de los parametros del pid del poly.</b>	<b>67</b>
<b>Figura 27 Pantalla de parametros del pid tela.</b>	<b>68</b>
<b>Figura 28 Escalado de la señal de los potenciómetro axial.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 29 Ladder para la implementación de pid.</b>	<b>73</b>
<b>Figura 30 Configuración de la instrucción pid.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 31 Oscilación de la variable proceso.</b>	<b>77</b>
<b>Figura 32 Sintonización del poly.</b>	<b>78</b>
<b>Figura 33 Sintonización del pid tela</b>	<b>79</b>
<b>Figura 34 controlar la velocidad del sistema de debobinado</b>	<b>80</b>
<b>Figura Conexión actual del sistema de control de la laminadora 1</b>	<b>1</b>
<b>Figura 36 Esquema de configuración i/o del plc micrologix 1400</b>	<b>83</b>
<b>Figura 37 Configuración del modulo 1762-iq8</b>	<b>85</b>
<b>Figura 38 Configuración del modulo 1762-if4</b>	<b>1</b>
<b>Figura 39 Configuración de i/o del modulo 0f4</b>	<b>87</b>
<b>Figura 40 Algoritmos para la producción y control de laminado.</b>	<b>92</b>
<b>Figura 41 Grafcet principal.</b>	<b>95</b>
<b>Figura 42 Arranque del proceso de laminado subrutina 1.</b>	<b>95</b>
<b>Figura 43 Grafcet alarmas del proceso de laminado subrutina 2.</b>	<b>96</b>

## Lista de cuadros

	Pág.
<b>Cuadro 1. Convenciones máquina laminadora</b>	<b>21</b>
<b>Cuadro 2. Sistema debobinador</b>	
¡Error! Marcador no definido.	
<b>Cuadro 3. Sistema de guiado laminado</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 4. Sistema bobinador</b>	<b>31</b>
<b>Cuadro 5 Especificaciones tecnicas allan brandley 1400</b>	<b>1</b>
<b>Cuadro 6 Medidas de las tensiones en la tela y el poly</b>	<b>40</b>
<b>Cuadro 7 Especificaciones tecnicas motor arrastre.</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 8 Especificaciones tecnicas motor poly.</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 9 Especificaciones tecnicas motor tela.</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 10 Especificaciones tecnicas motor bobinador.</b>	<b>42</b>
<b>Cuadro 11 operaciones de los componentes del control de tensión</b>	<b>43</b>
<b>Cuadro 18 Radio inicial del poly, tela y producto final laminado.</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 19 Espesor de poly, tela y producto final laminado.</b>	<b>52</b>
<b>Cuadro 20 Voltajes entradas y salidas de los sensores.</b>	<b>55</b>
<b>Cuadro 21 Valores de enteros para cada rango de voltaje de entrada .</b>	<b>69</b>
<b>Cuadro 22 Ganacia, tiempo integrativo y tiempo derivativo.</b>	<b>72</b>
<b>Cuadro 23 Parámetros del controlador pid.</b>	<b>77</b>
<b>Cuadro 12 Componentes del esquema de conexión.</b>	<b>82</b>
<b>Cuadro 13 Entradas del micrologix 1400 (1766-l3).</b>	<b>84</b>
<b>Cuadro 14 Salidas del micrologix 1400(1766-l32bwa).</b>	<b>84</b>
<b>Cuadro 15 Entradas del modulo 1762-iq8.</b>	<b>88</b>
<b>Cuadro 16 Entradas del modulo 1762-if4.</b>	<b>88</b>
<b>Cuadro 17 Salidas del modulo 1762-of4.</b>	<b>88</b>

## **RESUMEN**

El desarrollo del presente trabajo, constituye el diseño del sistema de control de tensión para una máquina laminadora de la capa exterior de los pañales desechables Winny elaborados por la empresa TECNOSUR SA, este documento se compone de una introducción al objeto de estudio y los capítulos que sustentaran dichos resultados, con este diseño se busca estructurar todas las partes que deben componer el sistema de control para su posterior implementación de acuerdo al momento que la empresa lo estime apropiado.

La empresa tecnosur cuenta con tensión pañaleras altamente sofisticadas pero dentro del proceso de la manufactura del pañal la elaboración de la cubierta exterior del pañal se encuentra limitada por tensión laminadoras que llevan mucho tiempo en esta función y ya presentan deterioros en las funciones que realizan, debido a esto el presente informe se desarrolla en cinco etapas: en la primera se obtienen los requerimientos ó exigencias planteadas por la empresa de los cambios que necesitan se efectúen en la laminadora, la segunda etapa lleva los requerimientos planteados en la primera etapa a especificaciones técnicas de lo que se necesita para cumplir con lo exigido, la tercera etapa entrega un diseño detallado basado en las especificaciones creadas en la etapa dos, la cuarta etapa se presenta el diseño arquitectural de la manera como deben interactuar los diferentes dispositivos para generar las diferentes acciones del sistema de control para la tensión en la laminadora y la quinta etapa se hace la selección de los dispositivos teniendo en cuenta el costo de la inversión para la posible implementación del diseño presente en este documento.

El resultado obtenido, señalan que cualquier diseño de modificaciones que se requieran en procesos de manufactura van fuertemente ligadas a lo que la empresa desea modificar poniendo de antemano el alcance técnico de lo que la empresa exige para poder plantear una solución coherente que satisfaga las necesidades trazadas de la empresa.

## INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera, a través de los siglos, ha contribuido al desarrollo tecnológico é investigativo que impulsa la innovación de procesos para la transformación de materias primas, desarrollando con ello bienes productivos para su posterior venta, los bienes de la industria manufacturera pueden dividirse en dos clases principales: bienes de consumo y bienes de capital. Los bienes de capital son aquellos que adquieren otras compañías para producir bienes o servicios. Los bienes de consumo son los productos que compran directamente los consumidores, tales como automóviles, televisores, computadoras personales, llantas y pañales desechables entre otros.

Dentro de los bienes consumo producidos por la industria manufacturera colombiana, se encuentran los pañales desechables, que hace más de 20 años son manufacturados por la empresa nacional tecnoquimicas bajo la marca Winny.

Desde hace más de 3 años Winny, una marca creada y producida en Colombia, es líder absoluta del mercado con el 40% de participación. Este reconocimiento es fruto de la calidad en los diferentes procesos de la elaboración del pañal, uno de estos procesos, es la elaboración de la cubierta exterior de los pañales.

La cubierta exterior de los pañales es la sección exterior que está en contacto con el vestuario del bebé, cuya función principal es impedir la salida de desechos al exterior, esta cubierta se fabrica a partir de tensión que incorporan y ensamblan con extremada precisión y armonía dos diferentes tipos de sustrato, estas tensión se les conoce con el nombre de laminadoras. Debido a su gran importancia cuando la laminadora falla la cubierta de los pañales desechables que se han producido hasta el momento debe ser rechazada y reciclada para su posterior procesamiento, debido a políticas de calidad que se manejan dentro de la empresa.

Este proyecto pretende trabajar sobre problemáticas relativas al control de la tensión que debe existir en todo el proceso de laminado, de tal forma que se optimice su funcionamiento, inicialmente se especificará el problema puntual a abordar obteniendo con ello, los alcances y objetivos del proyecto, lo mismo que la metodología a seguir y el desarrollo del diseño.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA

La elaboración de la cubierta exterior de los pañales desechables es un proceso que consiste en la unión íntima de 2 sustratos de diferentes densidades, este proceso se ejecuta en tensión las cuales se denominan laminadoras, estas tensiones deben desenrollar ó valga la aclaración debobinar los 2 sustratos<sup>1</sup> por separado manteniendo la tensión constante al momento de ser unidos. Actualmente en tecnosur la laminadora debe mantener en constante observación por una persona encargada de dicho proceso ya que la tensión en los rollos de sustrato durante el proceso presenta inconvenientes con:

- La **velocidad** con la cual se debe debobinar cada rollo **debido a que son de diferente diámetro y los sustratos no son de igual densidad.**

La diferencia en el diámetro de los rollos y sus diferentes densidades indica que:

El **PESO** en cada uno de los rollos es diferente y la velocidad y sincronización de los motores también debe ser diferente. Esta dinámica que se genera en el sistema no es mas que la **fuerza** o **tensión** desde el rodillo que lamina los sustratos hasta los rodillos que los debobina (*el cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime, segunda ley de newton*).

Los operarios de la laminadora a través del tiempo aprendieron de manera empírica ajustar la sincronización de los motores. Cuando existe cambio de turno este nuevo operario hace los cambios correspondientes que él considera necesario para que la tensión en el proceso de laminado sea óptima, esto conlleva a que cada operario ajuste la tensión de la manera que él considere conveniente. Cabe aclarar que la manera como cada uno de los operarios ajusta la tensión cumple con los objetivos de calidad que deben ser entregados por el proceso de laminado.

El problema radica en que el sistema es manual, con todo lo que ello conlleva, como consecuencia de este proceso manual existen pérdida de sincronismo de

---

<sup>1</sup> Sustrato: Sustancia o materia sobre la que actúa una enzima

los motores asociados al sistema de laminado y bobinado de la laminadora que perturban la tensión en el momento de elaborar la cubierta exterior de los pañales desechables que son producidos en la empresa tecnosur.

## 2. ANTECEDENTES

En TECNOSUR donde se producen los pañales Winny, se cuenta actualmente con 2 laminadoras las cuales son denominadas laminadora 1 y laminadora 2 utilizadas para la cubierta exterior de los pañales desechables.

La laminadora 2 actualmente tiene un PLC que se encarga de todo el control de tensión del proceso implementando un PID. El beneficio presente en esta laminadora es que la dinámica que ejecuta el controlador sobre el proceso de laminado es mas estables comparados con la laminadora 1 que no cuenta con este tipo de control, las acciones de control; proporcional, integrativo y derivativo, son suficientes para garantizar todo el control de la tensión de la laminadora 2, lo cual esta garantizando de forma constante la tensión de los dos tipos de sustratos, este es un antecedente que a llevado a la empresa a diseñar un sistema de control que garantice las misma características en el control de la tensión en la laminadora 1.

La laminadora 1 objeto de este proyecto, esta siendo controlada mediante una lógica de contactos que accionan los siguientes elementos para garantizar el control laminadora:

**Drives** Baldor VS1G V para cada motor de debobinado y bobinado. La unidad de bucle cerrado vectorial permite controlar la velocidad del motor y el par motor con la precisión y la sensibilidad necesaria para la aplicación<sup>2</sup>.

**Una tarjeta de control** con amplificadores operacionales donde su lógica de operación es recibir una señal de voltaje análogo del tacogenerador<sup>3</sup> como referencia para ser comparada con el voltaje que entregan los potenciómetros del dancero (ver marco teórico) y entrega a la salida la diferencia entre los 2 voltajes, este voltaje diferencial es enviado a los drives baldor.

---

<sup>2</sup> Baldor vs1g v drive [consultado 08 de julio de 2010]. Disponible en Internet:  
<http://www.plantservices.com/vendors/products/2007/106.html>

<sup>3</sup> Los tacogeneradores sirven en un sistema de regulación de velocidad, de registro de la velocidad actual, creando una tensión proporcional a la velocidad. Por este motivo representan un componente fundamental del sistema y la exactitud del total de regulaciones de velocidad depende de su calidad.



**Variador de frecuencia** micromáster 420 de siemens que controla la velocidad del motor de arrastre.

Igualmente a nivel mundial existen empresas encargadas de implementar sistemas de control de la tensión en el sector papelerero por ejemplo la compañía:

### **DOUBLE E/RE.**

DOUBLE E/RE es una compañía mexicana que fabrica equipo de desempeño para el manejo de bobinas dentro de la industria de la conversión de papel, filme, plástico, tela, material no tejido entre otros.

Dentro de los productos que ofrecen se encuentra el Controlador de Tensión en Lazo Cerrado **MW.90.10 / T.1** el cual posee características como:

Las (3) variables de control P.I.D. para la aceleración, desaceleración y marcha, mantienen constante la tensión, con respecto a la velocidad lineal. No se basa en valores promedios.

Display para señales de salida y escala para señal de entrada, útiles para la fácil lectura de las condiciones de trabajo del freno u objeto que se está controlando.

Diez (10) memorias programables que permiten seleccionar, las condiciones de trabajo para diferentes materiales.

Este sistema entrega diferentes señales para que puedan interactuar y ser compatibles con los dispositivos de las tensiones textiles.<sup>4</sup>

Este dispositivo es el que controla la tensión desde el rodillo que une los 2 sustratos hasta el rodillo que enrolla el producto final laminado.

---

<sup>4</sup> doublé e/re controle de tension industrial [consultado 10 de junio de 2010]. Disponible en Internet: <http://www.doubleeint.com.mx/tension.htm>

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Diseñar un sistema de control de la tensión que presente mejoras en el proceso de laminado y utilice nueva tecnología en la laminadora 1, presenta beneficios en la elaboración de los pañales Winny como son:

Disminución en la cantidad de veces que el proceso de laminado deba pararse por motivos que afecten las tensiones, ya que el sistema de control garantiza la sincronización automática de las etapas del proceso de laminado. Esta sincronización automática de las etapas del proceso de laminado ayuda a la unión armónica de los sustratos.

Mejor aprovechamiento de la materia prima, los dos rollos de sustratos que se utilizan en la elaboración de la cubierta de los pañales, no tendrán que ser cambiados por la diferencia en sus diámetros, ya que las acciones de control permiten aumentar o disminuir la velocidad de manera automática de cada uno de los rollos por separado, sin necesidad de cambiar uno de los rollos para que iguale al otro y mantener la tensión óptima para ser laminados.

A nivel personal y profesional el diseño del controlador trae consigo conocimiento y experiencia para dar soluciones futuras a la forma como se debe afrontar problemas de ingeniería.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL.**

Diseñar un sistema de control automático de la tensión para el proceso de laminado de la cubierta de los pañales desechables.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

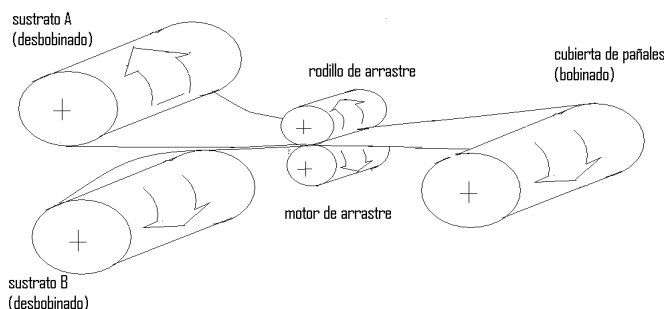
- Entender en conjunto los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos que conforman el proceso de laminado.
- Establecer las especificaciones deseadas de funcionamiento basándose en variables o indicadores que garantizaran la tensión adecuada para el proceso de laminado.
- Identificar la manera como deben interactuar las variables o elementos del sistema para que exista un buen funcionamiento mediante características cualitativas y técnicas que deban existir entre ellos.
- Diseñar una estrategia de control que permitan mantener la tensión deseada en la máquina y proporcionar solución al problema planteado, con el fin de controlar el proceso de tensión de embobinado y debobinado de la máquina laminadora de pañales.
- Seleccionar los equipos y dispositivos necesarios que permitan la implementación de la estrategia de control seleccionada.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. PROCESO DE LAMINADO.

Las laminadoras ensamblan dos sustratos con un adhesivo de tipo hot -melt<sup>5</sup>, la cual consiste básicamente en dos debo-binadores (uno para cada sustrato) un bobinador (para el producto laminado) y un rodillo de arrastre con su respectivo motor (para unir los dos sustratos) como lo muestra la Figura1.

**Figura 1. Proceso de laminado**

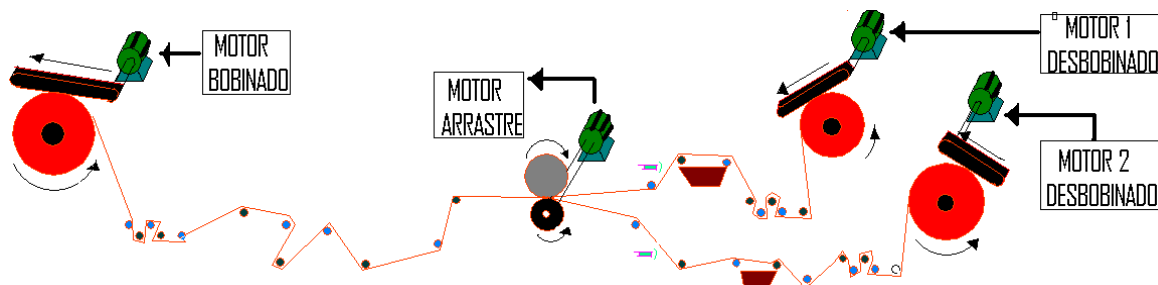


El producto terminado debe ser un material homogéneo, es decir, libre de arrugas o de esfuerzos internos que posteriormente ocasionen problemas en el proceso de producción de pañales. Dichos esfuerzos internos son causados principalmente por diferencias en la tensión en los sustratos, por lo tanto la tensión de cada sustrato debe ser lo mas constante posible y además debe ser igual en los dos sustratos e incluso en el bobinado del producto terminado. Esto se logra controlando la tensión desde cada extremo del proceso de laminado.

En la ilustración 2 se muestra el proceso que ejecuta la laminadora 1 para unir armónicamente los 2 tipos de sustratos y sus respectivas convenciones en la Cuadro 1

<sup>5</sup> hot melt: adhesivos de fusión en caliente que comprenden al menos un primer polímero de etileno homogéneo lineal o sustancialmente lineal que posee una densidad particular y una viscosidad en estado fundido a 350 °f (177 °c) y opcionalmente una cera y un agente glutinoso.

**Figura 2 Máquina laminadora de la cubierta externa de los pañales Winnie**



**Cuadro 1. Convenciones Máquina laminadora.**

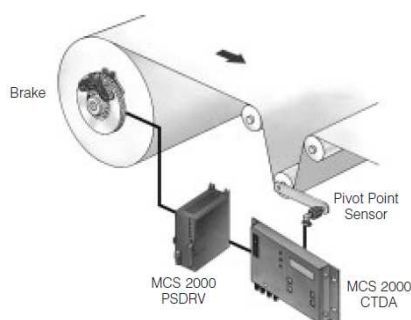
Nombre	Símbolo	Funcionamiento
Sustratos A y B con		Son los rodillos donde se colocan los dos tipos de sustratos (poly, tela)
Banda de velocidad tangencial		Son las encargadas de la velocidad tangencial que se le imprime a los sustratos según la velocidad de los motores.
Rodillo arrastre		Es un rodillo pasivo de gran peso, encargado de la unión entre los dos sustratos (poly- tela), la velocidad de este rodillo es una transferencia desde el rodillo de motor de arrastre al rodillo de arrastre
Guía de banda		Mecanismo electromecánico que mediante la señal de sensor de guiado mantiene los sustratos en posición permanente para que no ocurra un desfase entre los 2 sustratos
Rodillos de rueda libre		No cuentan con ningún motor que establezca su movimiento, este juego de rodillos permite mantener de manera indirecta la tensión en todo el proceso de laminado
Sensor de guiado		Son los encargados de generar las respectivas señales para los guías de banda, mantiene el sensado constante de la posición de los sustratos

## 5.2. CELDAS DE CARGA.

También conocido como sensores de peso son aquellos dispositivos electrónicos desarrollados con la finalidad de detectar los cambios provocados por una variante en la intensidad de un peso aplicado sobre la báscula o balanza, información que a su vez transmite hacia un controlador de peso<sup>6</sup>.

## 5.3. TIPOS DE SISTEMA DE CONTROL DE TENSIÓN.

**5.3.1. Sistema de control por Dancer ó bailarín.** El sistema de control bailarín consiste en una fuente de alimentación, control de bailarina, sensor de punto de pivote y el elemento a controlar, es decir, la tensión del freno o el embrague del debobinado. Los bailarines proporcionar la tensión de la banda de forma mecánica es necesario graduar la tensión determinada que se necesita antes de comenzar el proceso.<sup>7</sup>

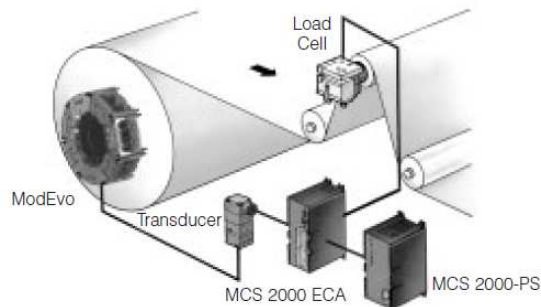


Fuente: Warner electric, tension control system for light, medium, and heavy duty *tensioning*, NJ: catalog p1234.

<sup>6</sup> CELDA DE CARGA [consultado el 10 junio 2010] disponible en internet en: <http://www.pesaje-agropecuario.com.mx/celdas-de-carga.html>

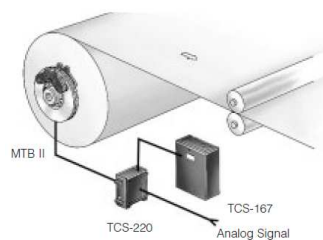
<sup>7</sup> SISTEMAS DE CONTROL POR DANCER O BAILARIN [consultado el 10 junio 2010] disponible en internet : <http://www.warner-china.com/zhangli.pdf>

**4.3.1. Control por celda de carga.** El sistema de control por celda de carga se compone de un controlador de celda de carga, fuente de alimentación, celdas de carga y el elemento a controlar, es decir, la tensión del freno o el embrague. Las celdas de carga miden la fuerza de tracción en la banda y compara esa fuerza para ajustar la tensión deseada<sup>8</sup>.



Fuentes: Warner electric, tension control system for light, medium, and heavy duty *tensioning*, NJ: catalog p1234.

**5.3.2. Control análogo de tensión.** El sistema control análogo consta de un módulo de control, una fuente de poder y un elemento de control, es decir, freno de tensión o embrague. El control análogo proporciona una salida proporcional a la señal de entrada para su uso en debobinado a la zona intermedia ó tensión de bobinado<sup>9</sup>.

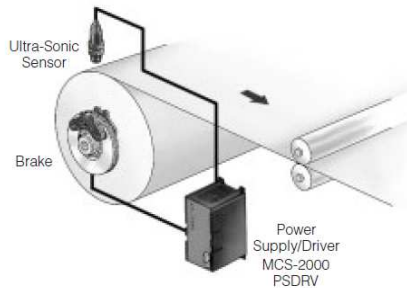


Fuentes: Warner electric, tension control system for light, medium, and heavy duty *tensioning*, NJ: catalog p1234.

<sup>8</sup> CONTROL POR CELDA DE CARGA [consultado el 10 junio 2010] disponible en internet : <http://www.warner-china.com/zhangli.pdf>

<sup>9</sup> CONTRO ANALOGO DE TENSION [consultado el 10 junio 2010] disponible en internet : <http://www.warner-china.com/zhangli.pdf>

**5.3.3. Control electrónico de tensión.** Los sistemas electrónicos de control son muy similares a los sistemas analógicos de control con la excepción de la utilización de un sistema electrónico como elemento de detección, tales como un ultrasonido o sensor fotoeléctrico. El sensor controla la tensión respecto el cambio de diámetro del debobinador o rebobinar de rollos, y proporciona un correspondiente cambio en la producción.<sup>10</sup>



Fuente: Warner electric, tension control system for light, medium, and heavy duty *tensioning*, NJ: catalog p1234.

Estos 4 sistemas de control son los mas utilizados en la industria para el control de tensión y son mencionados por que en el desarrollo de la solución de este trabajo son tomados en cuenta: el sistema por celda de carga y el sistema por dancer.

<sup>10</sup> CONTROL ELECTRONICO DE TENSION[consultado el 10 junio 2010] disponible en internet : <http://www.warner-china.com/zhangli.pdf>



**5.3.4. Requisitos para garantizar un laminado óptimo.** Los requisitos para garantizar un laminado de forma armónica son:

✓ **La tensión:** Se compone de  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Tracción} \\ \text{Deslizamiento} \end{array} \right.$

✓ **El flujo de los materiales.** Se compone de  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Velocidad superficial} \\ \text{Deslizamiento} \end{array} \right.$

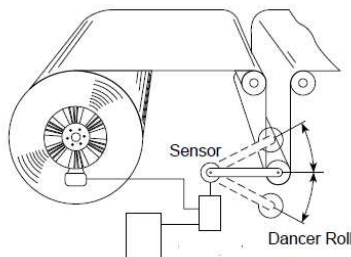
La tensión y los flujos de los materiales están interrelacionados y la alteración de uno de ellos afecta al otro. Estos dos factores comparten el deslizamiento como una de sus características haciendo que tanto el flujo de materiales y la tensión dependa el uno del otro.

El deslizamiento es ocasionado por la velocidad y la tracción que se le imprime tanto al poly como la tela se le llama velocidad superficial debido a que la velocidad de los rodillos de tracción y de rueda libre, determinan la velocidad de los materiales, cabe especificar que es el rodillo de tracción quien de manera directa establece la velocidad del flujo de los materiales, ya que es el principal actuador en el proceso de laminado.

**5.3.5. Requisitos para gestionar la tensión en procesos de laminado.** Para gestionar la tensión en procesos de laminado la laminadora debe contar con:



**Estructura de contacto de fuerza constante:** esta estructura debe aplicar al debobinado una fuerza compensadora la cual recibe el nombre de "dancer" ó bailarín.



Fuentes: disponible en [http://bellma.com/en/products/nonfricCylinder/application\\_example.html](http://bellma.com/en/products/nonfricCylinder/application_example.html)



**Dispositivos de velocidad variable:** regulan el flujo de los materiales. Dispositivos y componentes ya sean electrónicos, mecánicos o neumáticos capaces de variar la velocidad de los materiales en forma directa o indirecta.

### **5.3.6. Dificultades para gestionar la tensión en el proceso de laminado.**

Debido a su composición o naturaleza, el poly y la tela son materiales elásticos debido a ello resiste la tracción deformándose longitudinalmente. Igual que una banda elástica, el poly y la tela se estira bajo la acción de una fuerza y recupera su dimensión original cuando la fuerza deja de actuar. No obstante, su recuperación no es perfecta ya que parte del estiramiento es permanente, echo que complica el control o ajuste de la tensión en los primeros puntos de control de tensión en el debobinado causado por:

- ✓ Una variación en velocidad superficial cuando el diámetro rodillos llegase a variar.
- ✓ La velocidad superficial de los materiales durante el proceso de laminado varía según el punto de contacto y la presión entre el material y los rodillos. Esa variación afecta en forma imprevisible el deslizamiento del material y la velocidad superficial del material o flujo.

- ✓ El dancer ó balancín produce una fuerza negativa cuando no ha sido graduado para mantener una tensión constante en ambos materiales aumentando o disminuyendo la tensión de los materiales.
- ✓ La reducción ó el aumento de la velocidad de la fuerza ejercida por el balancín, aumenta o disminuye " la estirada" y, por lo tanto, la tensión del POLY Ó LA TELA.
- ✓ Velocidad superficial, tracción y deslizamiento son factores mecánicos que varían la tensión de los materiales<sup>11</sup>..

---

<sup>11</sup> Limitaciones para gestionar la tensión [consultado el 10 junio 2010] disponible en internet en:  
<http://consultoresfca.blogspot.com/2008/09/tecnologia-tension-del-papel-en-la.html>

## **6. METODOLOGÍA**

Diseñar un sistema de control para el proceso de laminado de la cubierta de los pañales desechables fue llevado a cabo bajo la **PLANIFICACIÓN DE UN DISEÑO DESCENDENTE - TOP DOWN** que consiste en abarcar el desarrollo del problema desde su máxima simplicidad consiguiendo con ello un resumen sencillo de la solución del problema, desarrollando esa sencilla solución bajo ciertas etapas se tendrá detalladamente la solución del problema, cuyas etapas son las siguientes y buscarán alcanzar los objetivos específicos.

❖ **ETAPA DE REQUISITOS**

❖ **ETAPA DE ESPECIFICACIONES**

❖ **ETAPA DISEÑO LÓGICO O DETALLADO:**

❖ **ETAPA DE DISEÑO ARQUITECTURAL**

❖ **ETAPA DE SELECCIÓN Y VALIDACION**

## 7. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

### 6.1. ETAPA DE REQUISITOS

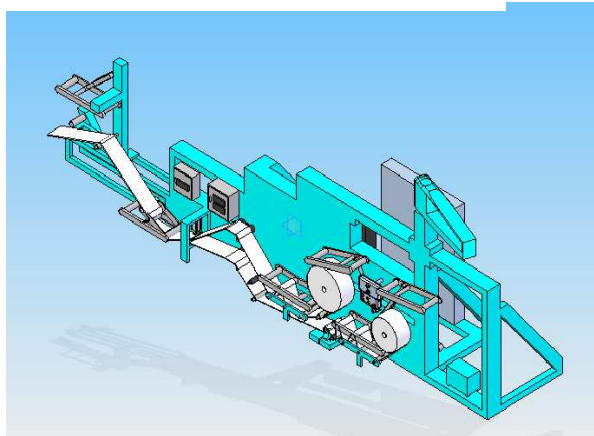
**6.1.1. Eestructura de la laminadora 1.** La ilustración 6(a) es un CAD de la laminadora 1 con el fin de tener una aproximación de su estructura física. En la ilustración 6(b) es una vista frontal de la laminadora 1 mostrando en un recuadro los 3 sistemas de los que se compone la laminadora:

DEBOBINADOR

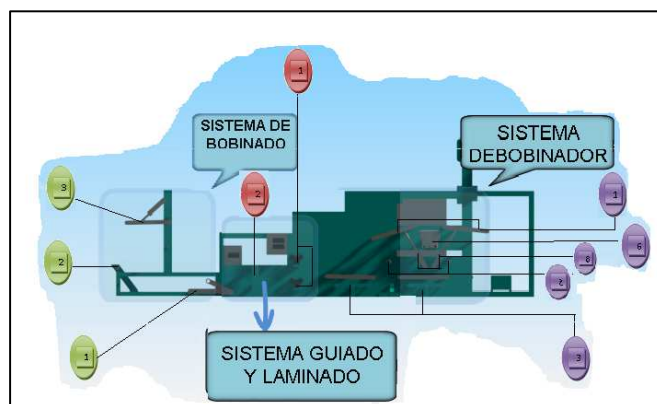
GUIADO y LAMINADO

BOBINADOR

Figura 3 diseño asistido por computador de la laminadora 1 a y b












(b)



Cada uno de los sistemas esta compuesto de partes M=mecánicas, E=electrónicas v N=neumática

Cuadro 2 . Sistema de bobinador

COMPONENTES	REF.	CANTIDAD	CARACTERÍSTICA	TIPO
<b>Bandas tangenciales</b>		2	Imprimir movimiento a los rollos de la tela y el poly	M-E
<b>debobinadores</b>		2	Rodillos donde insertan los rollos de tela y de poly	M-N
<b>Sistemas de balancin</b>		2	Mecanismo a base de contra peso para la tensión material	M
<b>Rodillos de rueda libre</b>		7	Mantienes estable la dinámica del laminado	M
<b>Tablero de mando, electrónico</b>		1	Para poner en funcionamiento la laminador o pararla	E
<b>Tablero de mando neumático</b>		1	Asegurar bandas tangenciales, y los rollos a los debo binadores	N
<b>potenciómetro</b>		2	Envían una señal de voltaje relativa ala posición del balancín	E
<b>pistones</b>		4	Sirven de amortiguamiento en los balancines y en las bandas	N

COMPONENTES	REF	CANT	FUNCIÓN	TIPO
<b>Guías fife</b>		2	Mantener la dirección dela tira tanto del poly como la tela para su compactación	E
<b>(rodillo de compactación)</b>		1	Es el rodillo principal ya que hala los dos rollos y a su vez los compacta para laminar	E-M
<b>Sistema de rocío de goma</b>		1	Rocía parejamente un pegante al poly antes de ser laminado para poderlo adherir a la tela	E-M
<b>Tablero de mando, electronico</b>		1	Tablero principal , ya que en este se establece la velocidad de la máquina y se para y se pone en marcha	E
<b>Rodillos de rueda libre</b>		4	Mantienes estable la dinámica del laminado	M

**Cuadro 3. Sistema de guiado laminado**

COMPONENTES	REF	CANTIDAD	FUNCIÓN	TIPO
Sistema de rodillos	1	2	Mantener la dirección dela tira del poly y la tela para su compactación	M
Celda de carga		1	Sensor electrónico de tensión	E
Rodillo bobinador	2	1	En el se envuelve el rollo del producto laminado	M-N-E
Prensa amortiguadora	3	1	estabilidad al sistema rollo de laminado	M-N-E
Rodillos de rueda libre		1	Mantiene estable la dinámica del laminado	M

**Cuadro 4. Sistema bobinador**

Dentro de los requisitos para desarrollar el sistema de control sea establecido que deben existir ciertos cambios en los sistemas que conforman la laminadora y el sistema de control actual como son:

### **Bandas tangenciales:**

Cuando el rollo llega al operario mediante un montacargas previsto de tenazas, esa presión ocasiona que tanto el poly como la tela cambien su forma redonda a ovalada ocasionando con ello que las bandas tangenciales a medida que debobina el rollo empiecen a rebotar, ya que estas para imprimir velocidad al rollo lo hace tangencialmente, estos rebotes presenta desventajas en el sistema debobinador que son:

- rebote mientras imprime la velocidad a los rollos.
- peligros para el operario por rebote de la banda.
- se gasta la banda en ciertas zonas donde el rebote es muy fuerte.
- no se tiene en cuenta la velocidad con respecto al diámetro delos rollos.

- la banda tangencial aumenta la velocidad cuando queda al vacío debido al rebote causado por la deformación de los rollos ocasionando que la velocidad que imprime no sea constante sobre los rollos.

Por las desventajas presentadas se ha tomado la decisión que las bandas tangenciales no serán tomadas en cuenta dentro del diseño del sistema de control para laminadora 1 como mecanismo para hacer girar los rollos, en su defecto el eje de cada motor irán directo al rodillo de sostenimiento de su respectivo rollo por una relación de correas y engranes 1:1.

**6.1.2. Requisitos para el diseño del sistema de control de tensión.** La laminadora 1 compensa las variaciones de tensión mediante el balancín en el sistema de debobinado, el motor de arrastre ó compactación genera la tracción al mismo tiempo que los rodillos de rueda libre permiten el deslizamiento tanto del poly como el de la tela. Para que la dinámica de tracción y deslizamiento sea constante sin variar la tensión establecida TECNOSUR S.A plantea los siguientes requisitos para el diseño del sistema de control:

- El operario debe interactuar con el proceso de laminado de manera dinámica monitoreando y ejecutando operaciones en el proceso de laminado.
- Parar el proceso antes de que se termine ya sea el rollo de poly ó el de la tela manteniendo la tensión establecida en el proceso. Ello involucra conocer el diámetro de los rollos constantemente tanto del poly, la tela y el producto final requisitos que actualmente no cuenta la laminadora 1.
- El tiempo de arranque y parada de la laminadora, la tensión debe permanecer lo mas constante posible, ello involucra que la tensión debe ser constante a medida que pare o arranque el proceso laminado, actualmente la parada y arranque del proceso de laminado se efectúa de forma satisfactoria.
- El Sistema de control de tensión en el debobinado debe seguir siendo implementado por dancin (balancín) ya que la laminadora cuenta con dicha estructura implementada actualmente).
- Mantener los rangos de operación para garantizar la calidad del laminado ya establecidos como lo son; la rpm, la tensión, parámetros de la tela y el poly.



- Sensar la ausencia del poly, la tela y el producto final laminado con el fin de para el proceso de laminado cuando halla ausencia de una de ellas y cuando exista un máximo permitido en el rollo laminado.
- Que la velocidad de debobinado debe vararía con respecto a la velocidad tracción para mantener la tensión fija y no existan esfuerzos internos.
- La velocidad del sistema debobinado debe ser transmitidita al eje del rodillo de sostenimiento de manera que halla una relación directa entre el motor y el eje de rotación de los rollos ya sea del poly y la tela la relación de la trasmisión será mediante poleas con relación 1:1.
- El sistema de control de tensión implementado con el doublé/re en el sistema de bobinado no tiene cambio alguno.
- El sistema de diseño del control de tensión debe ser planteado con base en la utilización de un PLC Allan Bradley micrologix1400 por que:
- Tecnosur cuenta con la licencia empresarial RS Logix500 de ROCKWELL SOFTWARE.
- Tecnosur en su almacén cuenta con el micrologix 1400, el cual quiere que sea utilizado para el diseño de este proyecto con las siguientes características ver cuadro 5.
- Los componentes que se desean implementar en el diseño del sistema de control deben encontrarse en la actualidad en el almacén de tecnosur.

**Cuadro 2. ESPECIFICACIONES TECNICAS ALLAN BRANDLEY 1400**

<b>micrologix</b>	<b>1766-L32BWA</b>
<b>Input Power</b>	120/240 V AC
<b>Memory</b>	non-volatile battery backed RAM
<b>User Program / User Data Space</b>	10K / 10K configurable
<b>Data Logging / Recipe Storage</b>	128 K (without Recipe) / up to 64 K(after subtracting Data Logging)
<b>Battery Back-up</b>	Yes
<b>Back-up Memory Module</b>	Yes
<b>Digital Inputs</b>	12) Fast 24VDC (8) Normal 24VDC
<b>Digital outputs</b>	(12) Relay
<b>Analog Inputs / Outputs</b>	None
<b>Serial Ports</b>	(1) RS232C/RS485* , (1) RS232C**
<b>Serial Protocols</b>	DF1 Full Duplex, DF1 Half Duplex Master/Slave,  DF1 Radio Modem, DH-485,  Modbus RTU Master/Slave, ASCII, DNP 3 Slave
<b>Ethernet Ports</b>	(1) 10/100 EtherNet/IP port
<b>Ethernet Protocols</b>	EtherNet/IP messaging, DNP3 over IP and Modbus TCP/IP
<b>Trim Potentiometers</b>	2 Digital
<b>High-Speed Inputs</b>	Up to 6 channels @ 100 kHz
<b>Real Time Clock</b>	Yes, embedded
<b>PWM /PTO</b>	N/A
<b>Embedded LCD</b>	Yes
<b>Floating Point Math</b>	Yes

## 6.1. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA TENSION .

Para cumplir con los requerimientos descritos en la etapa de requisitos para el desarrollo del sistema de control de tensión, el sistema debe contar con diferentes secciones ó estrategias de control desarrolladas en el PLC que juntas resuelven los requisitos ya mencionados, estas secciones son.

- **SECCION DE CÁLCULO.**
- **SECCION DE DETECCION.**
- **SECCION DE CONTROL DE TENSION.**

Cada una de las secciones es supervisada por el operario mediante una interfaz hombre máquina la cual describiremos de ahora en adelante como **SISTEMA DE SUPERVISIÓN.**

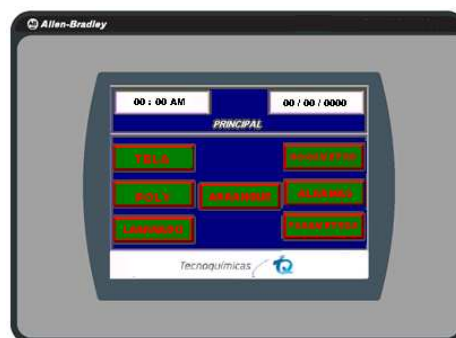
**6.2.1. Sistema de supervisión.** Se monitorea continuamente la información que el PLC lee en tiempo real y las variables del proceso, permitiendo al operario visualizar por medio de diferentes pantallas las diferentes secciones del proceso de laminado como son:

Sección de cálculo.

Alarmas generadas por la sección de detección.

Sección del control de tensión.

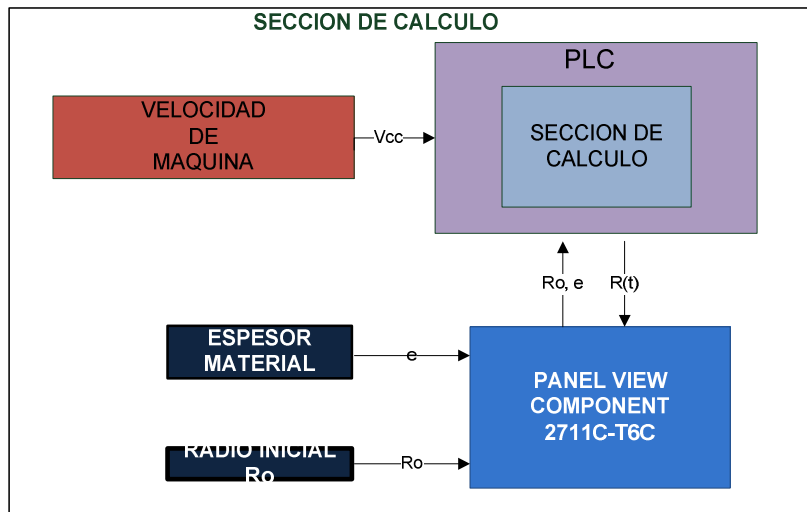
Figura 4 SISTEMA DE SUPERVISION



**6.2.2. Especificaciones de la sección de cálculo.** La sección de cálculo es un conjunto de instrucciones de pasos sucesivos (ver pag 50 **diagrama de flujo de la subrutina de cálculo**). Interpretados en el PLC, donde se busca satisfacer los requerimientos 1 y 2, esta sección debe:

Calcular el diámetro del poly, tela y producto final partiendo de la velocidad del motor principal en todo momento durante el proceso de laminado con el fin de conocer constantemente el diámetro actual de los rollos este calculo se realiza de forma indirecta con las señales de velocidad de máquina y parámetros constantes como lo es el espesor del material y el radio inicial del rollo ver ilustración 5.

**Figura 5 SECCION DE CÁLCULO.**



**6.2.3. Especificaciones de la sección de detección.** La sección de cálculo busca satisfacer el requerimiento 5 la cual debe estar compuesta por 4 sensores:

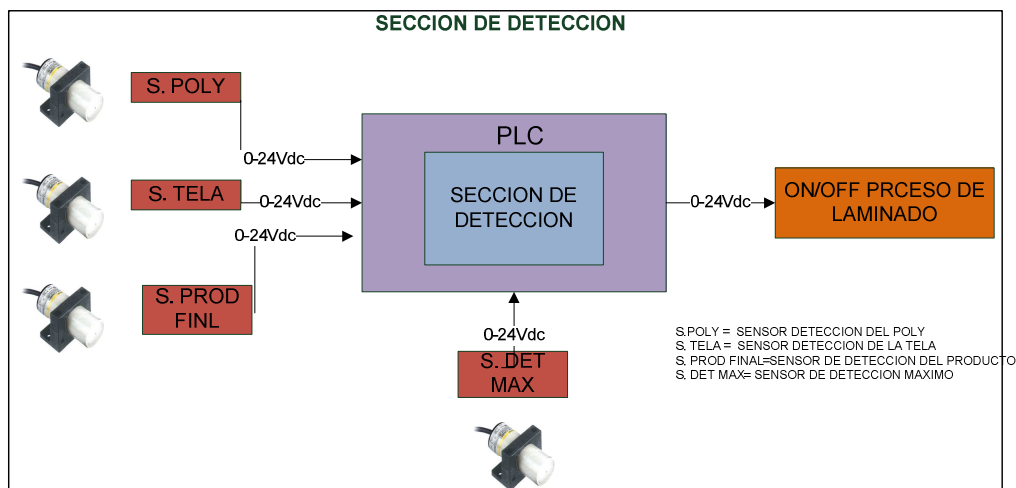
**Sensor detección de poly:** Los sensores deben estar indicando constantemente al PLC que existen presencia del poly en el proceso de laminado en caso de no existir se debe parar el proceso o en su defecto no dejar que empiece.

**Sensor detección de tela:** Los sensores deben estar indicando constantemente al dispositivo de control elegido que existes presencia de la tela en el proceso de laminado en caso de no existir se debe parar el proceso o en su defecto no dejar que empiece.

**Sensor detección de producto laminado:** Los sensores deben estar indicando constantemente al dispositivo de control elegido que existes presencia del producto laminado en caso de no existir se debe parar el proceso o en su defecto no dejar que empiece.

**Sensor detección Max. Rollo Producto laminado:** el sensor indicara al dispositivo de control elegido que el rollo del producto laminado esta al máximo cuando ello ocurra debe pararse el proceso de laminado.

**Figura 6 SECCION DE DETECCION**



**6.2.4. Especificaciones de la sección de control de tensión.** La sección del control de tensión es un conjunto de instrucciones de pasos sucesivos (ver pág. 59, 60, 61 y 62). Interpretados en el PLC, donde se busca satisfacer los requerimientos 3,4.5 y 7:

Actualmente esta sección podríamos decir esta implementada bajo la lógica del control de tensión por dancer o balancín ver ilustración 7.

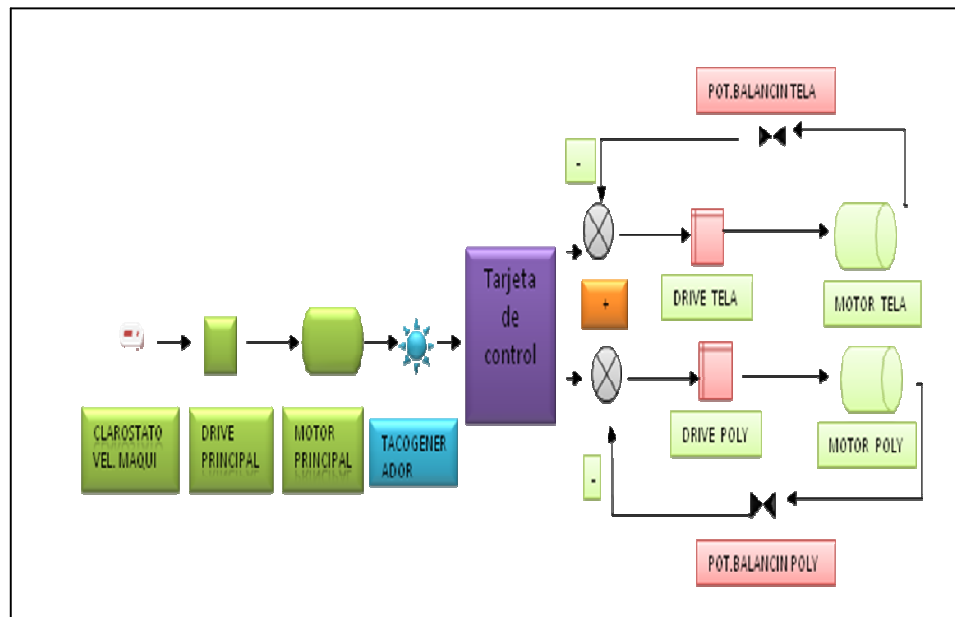


Ilustración 7 arquitectura del control de tensión con la tarjeta de control.

En la lógica de control de tensión actualmente Son definas 1400 rpm por el operario mediante un **clarostato** encargado de entregar una señal análoga de voltaje Dc respecto a la posición que se ubique potenciómetro con la finalidad de establecer la **referencia** al **drive principal**, que a su vez controla la velocidad del **motor principal**.

Con una relación de engranes 1:1 se transfiere la velocidad de rotación del eje del motor a un **taco-generador** que entregara una señal análoga de voltaje Dc referente a las rpm del alado o en su defecto **motor de laminado** a la **tarjeta de control**.

La **tarjeta de control** toma la señal que le llega del taco-generador y con base en ella ejecuta la diferencia con el potenciómetro axial del dancer, ese resultado de la diferencia es entregado a los **drive** tanto del poly como el de la tela.

La señal analógica de voltaje Dc que entrega el potenciómetro Axial Lineal es de acuerdo a la posición en que se encuentre dancer o bailarín pero la acción que regula la tensión se gestiona mediante la **tensión establecida por el balancín con un peso en el extremo opuesto relativo a la tensión en newton deseadas** y un pistón que sirve para amortiguar las variaciones del balancín.

Con ese funcionamiento la tarjeta de control es el dispositivo que genera los señales de voltaje correspondiente para mantener la tensión pero debe ser modificado por la siguientes razones:

- La variación del diámetro del rollo no es tenido en cuenta para controlar la velocidad.
- Como es meramente hardware no es compatible con nuevos sistemas que quieran implementar en la laminadora 1.
- Esta compuesta de amplificadores operacionales esta expuesta posibles cambios de off-set lo cual variaría su características como son los voltajes de salida.
- Si llegase a producir una falla en su funcionamiento deberían conseguir una igual con las mismas características y posiblemente sea difícil de conseguir por los 5 años que lleva siendo implementada.

Los requerimientos 3, 4, 5 y 7 se cumplan la tarjeta de control debe ser cambiada y en su defecto el PLC efectuara las funciones que cumpla la tarjeta de control de forma que:

- Control en la velocidad de cada uno de los motores de desbobinado tomando como referencia la velocidad del sistema de laminado y la posición del dancer.
- Mantiene la tensión en el poly, la tela y el bobinado ver cuadro 6:

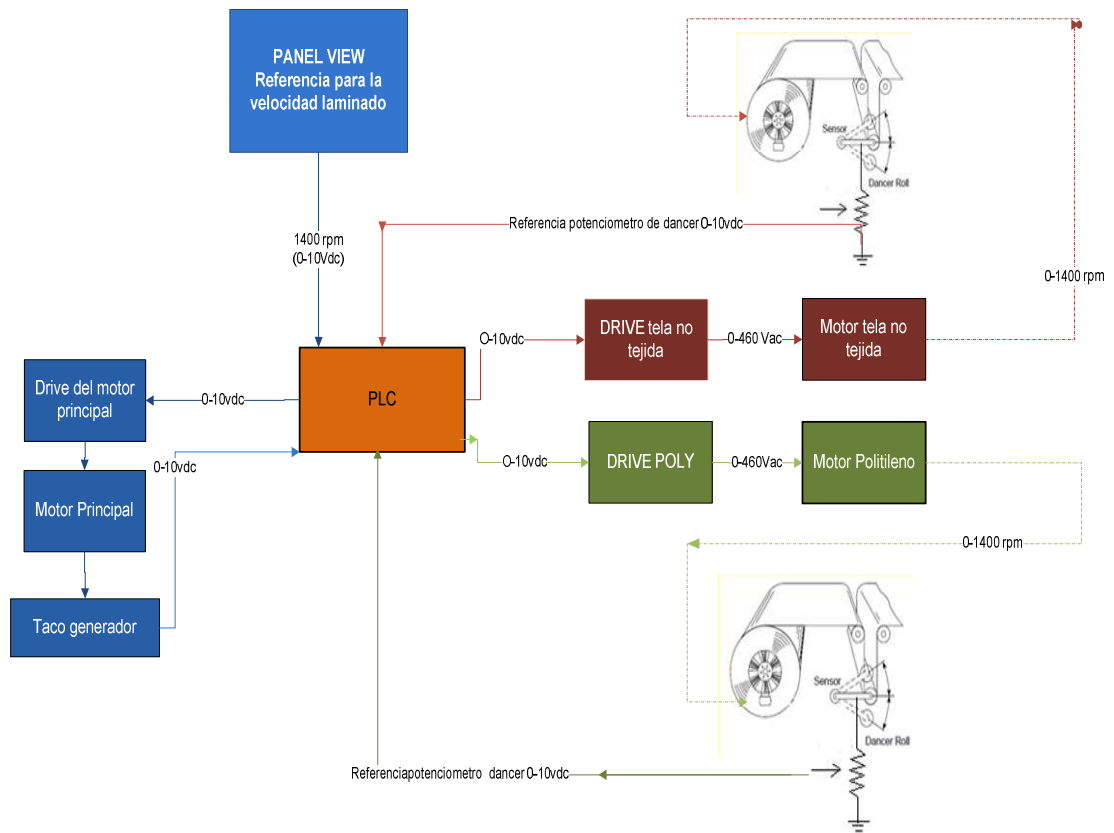
**Cuadro 3 medidas de las tensiones en la tela y el poly**

Tensión	(Kg)
tela	0.60
poly	0.50

- Generar las acciones de control para los drives de los motores teniendo en cuenta las características técnicas de los motores que existen actualmente en la laminadora 1 ver cuadro 7, 8, 9, y 10.
- El debobinado del tanto del poly como el de la tela, será efectuado por la regulación de las diferentes acciones de control PID para mantener la tensión del proceso de laminado de la capa exterior de los pañales, esto siempre y cuando trabaje bajo los rangos de operación *ver cuadro 11, ilustración 8*.



**Figura 8 arquitectura del control tensión por PLC**



## 6.2.5. Especificaciones técnicas de los motores del sistema de laminado, el sistema debobinado y sistema bobinador.

**Cuadro 4 ESPECIFICACIONES TECNICAS MOTOR ARRASTRE**

ZDM3661T	modelo	06F137W14Z1	FRAM	182TC
HP	RPM	VOLTAJE	AMP	Hz
3	1760	230/460	7.4/3.7	60
3	6000	230/460	7.60/3.8	90
1000				
3				
baldor				

**Cuadro 5 ESPECIFICACIONES TECNICAS MOTOR POLY**

ID	p14A5805AM	modelo	WD145TO	FRAM	WD145TO
	HP	RPM	VOLTAJE	AMP	Hz
BASE	3	1744	230/460	6.0/3.0	60
CSTANTE TORQUE	1000				
FASES	3				
marca	Rilliance electric				

**Cuadro 6 ESPECIFICACIONES TECNICAS MOTOR TELA**

ID	p14A5805AM	modelo	WD145TO	FRAM	WD145TO
	HP	RPM	VOLTAJE	AMP	Hz
BASE	3	1744	230/460	6.0/3.0	60
CSTANTE TORQUE	1000				
FASES	3				
marca	Rilliance electric				

**Cuadro 7 ESPECIFICACIONES TECNICAS MOTOR BOBINADOR**

ID	59010217	modelo	p1861233A	FRAM	182TC
	HP	RPM	VOLTAJE	AMP	Hz
BASE	3	1755	230/460	7.60/3.80	60
MAX	3	2630	230/460	7.4/3.7	90
CSTANTE TORQUE	1000				
FASES	3				
MARCA	RILLANCE ELECTRIC				

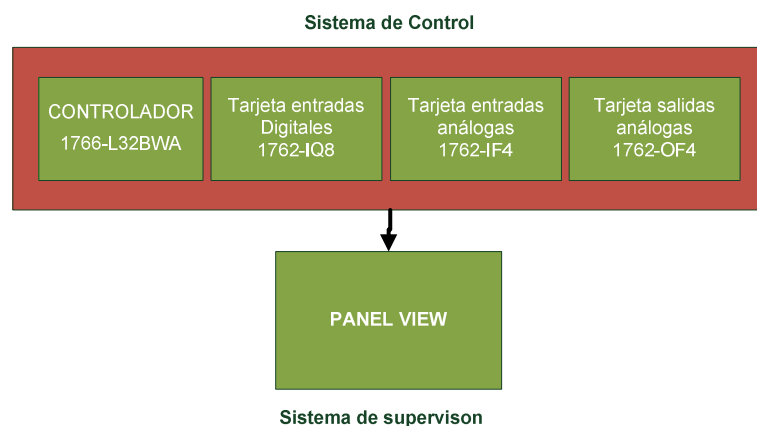
**Cuadro 8 rangos de operaciones de los componentes del control de tensión**

componentes	Voltaje in	Voltaje out		rpm	Hz
Potenciometro referencia vel. máquina	9.5	8.193		x	x
Drive principal	8.193	406 vac		x	
Motor principal	407	x		1400	
taco generador	x	109			
Tarjeta de control	120vac	poly	tela	x	x
		7.752/53	7.86/70		
Drive tela	7.70/86	406 vac		x	42.7
Drive poly	7.752/53	415 vac		x	42.8
Motor tela	406	x		1276/1282	
Motor poly	415	x		1276/1282	
Potenciometro tela	10	4.5-5		x	x
Potenciometro poly	10	5.5-6		x	x

X: no aplica

**6.3.1. Etapa de diseño detallado del sistema de control de tensión** El sistema de control está compuesto por un controlador, una tarjeta de entradas digitales, una tarjeta de entradas análogas y una tarjeta de salidas análogas, donde serán cableadas los equipos e instrumentación de la laminadora 1 ver figura 9 .

**Figura 9 sistema de control**



**6.3.2. Sistema de supervisión.** Este sistema consiste en interfaz hombre máquina que es la que le permite al operario interactuar con el proceso de laminado de una forma dinámica mediante pantallas, de esta forma se monitorean las variables y puede modificarse también ciertas variables.

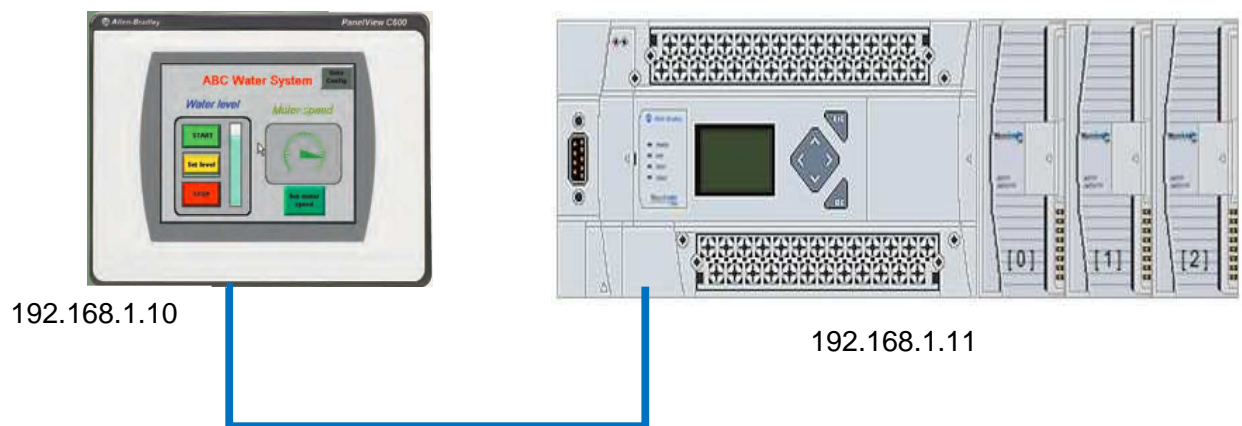
Este sistema se encuentra en red con el PLC mediante el protocolo Ethernet donde el PLC y la panel view le son asignadas direcciones IP ver ilustración 10.

## ▪ DIRECCIONES IP DEL PLC Y EL PANEL VIEW

Las direcciones asignadas al PLC y al panel View son las siguientes:

- ✓ PLC: 192.168.1.11
- ✓ Panel View: 192.168.1.10

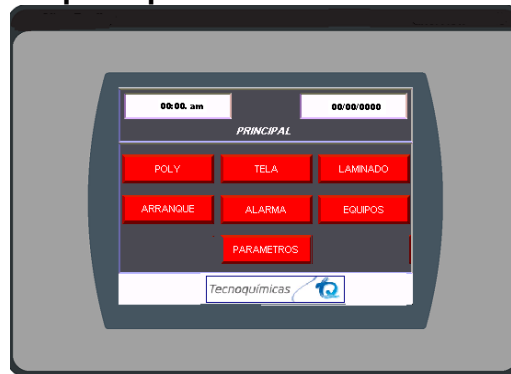
**FIGURA 10 SISTEMA DE SUPERVISION**



Para cada sección que ha sido planteada en la etapa especificaciones se establecen pantallas con las que el operario interactúa, estas pantallas son mostradas en cada diseño detallado de cada sección las cuales son habilitadas por la pantalla principal.

**Pantalla de menú principal:** es la pantalla de arranque del sistema de laminado donde se podrá navegar a poly, tela, laminado, alarma, arranque y parámetros.

**Figura 11 pantalla de menú principal**

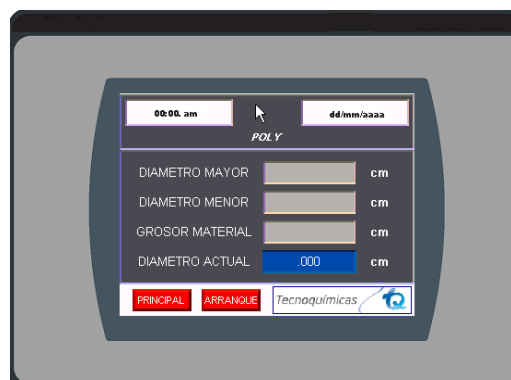


**6.3.3. Diseño detallado de la Sección de cálculo.** Esta sección es la encargada de calcular el diámetro del poly, tela y producto final partiendo de la velocidad del motor principal, para conocer como varia el diámetro del rollo con precisión debe entregar la medición del rollo del poly, tela producto final laminado.

La especificación establecida en la etapa de especificaciones establece que la sección de cálculo interactúa con el operario mediante una interfaz hombre máquina el diseño de esta interfaz ó pantallas son:

- **pantalla de Poly:** Para conocer al comportamiento del diámetro del polietileno damos click en el botón de “Poly” de la pantalla principal y nos desplegara la siguiente pantalla:

**Figura 12 pantalla del diámetro del poly**



En esta pantalla se ingresa:

- ❖ El diámetro mayor del poly cada vez que el rollo es cambiado,
- ❖ El diámetro menor del poly cada vez que el rollo es cambiado
- ❖ El grosor del material del poly cada vez que hay un cambio de tipo de material.

Se podrá visualizar:

- ✓ el diámetro actual del poly en el recuadro azul.

Las unidades ingresadas por el operario deberán ser en centímetros para todos los parámetros.

- **Pantalla Tela:** Para conocer al comportamiento del diámetro de la tela damos click en el botón de “Tela” de la pantalla principal y nos desplegara la siguiente pantalla:

**Figura 13 pantalla del diámetro de la tela**



En esta pantalla se ingresa:

- ❖ El diámetro mayor de la tela cada vez que el rollo es cambiado,
- ❖ El diámetro menor del laminado cada vez que el rollo es cambiado
- ❖ El grosor del material del poly cada vez que hay un cambio de tipo de material.

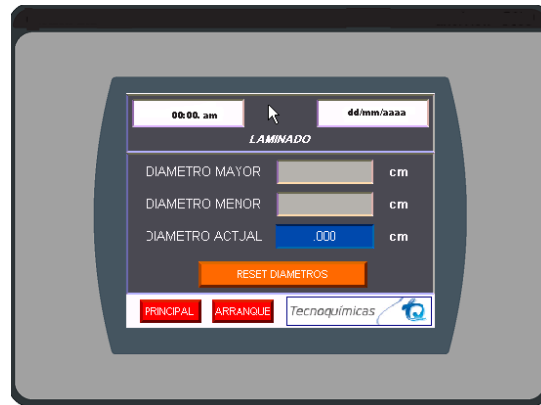
Se podrá visualizar

- ✓ el diámetro actual del laminado en el recuadro azul.

- **Pantalla de laminado:** Para conocer al comportamiento del diámetro del laminado damos click en el botón de “Laminado” de la pantalla principal y nos desplegara la siguiente pantalla:



**Figura 14 pantalla del diámetro de laminado.**



En esta pantalla se ingresa:

- ❖ El diámetro mayor del poly cada vez que el rollo es cambiado,
- ❖ El diámetro menor del poly cada vez que el rollo es cambiado
- ❖ El grosor del material del poly cada vez que hay un cambio de tipo de material.

Se podrá visualizar:

- ✓ el diámetro actual del laminado en el recuadro azul.

La sección de cálculo utiliza las siguientes ecuaciones para conocer el diámetro actual del poly, tela y producto final laminado.

En el instante inicial  $t=0$ .

- El radio del poly ó la tela es  $r_0$
- El radio del producto final laminado  $R_0$

El poly y la tela se desenrollan de la rueda derecha y se enrolla en la izquierda. En un instante determinado  $t$ , la relación entre la velocidad lineal constante  $v$  de la proceso de laminado y las velocidades angulares de rotación de las rollos serán.

- El radio del producto final laminado en la parte izquierda será  $r_1$  y su velocidad angular  $\omega_1=v/r_1$

- El radio del poly ó tela de la derecha será  $r_2$  y su velocidad angular  $\omega_2=v/r_2$

Aunque la velocidad  $v$  del lamido en el tiempo será contante, las velocidades angulares  $\omega_1$  y  $\omega_2$  de los rollos no lo son ya que sus radios  $r_1$  y  $r_2$  cambian con el tiempo.

En cada vuelta  $2\pi$ , el producto del final laminado incrementa su radio en  $e$ , el espesor del rollo. Cuando el rollo de producto final de laminado gira un ángulo  $d\theta_1$ , su radio se habrá incrementado en  $dr_1$  por lo tanto tenemos:

$$dr_1 = \frac{e}{2\pi} d\theta_1 = \frac{e}{2\pi} \omega_1 dt = \frac{e}{2\pi} \omega_1 dt = \frac{e}{2\pi} \frac{V}{r_1}$$

**Ecuación 1 incremento del radio del producto final**

$$d\theta_1 = \omega_1 dt = \omega_1 dt = \frac{V}{r_1} dt ;$$

**Ecuación 2 variación del Angulo del producto final laminado en función de la velocidad.**

La rueda derecha habrá girado un ángulo  $d\theta_2$ , su radio habrá disminuido en  $dr_2$

$$dr_2 = -\frac{e}{2\pi} d\theta_2 = -\frac{e}{2\pi} \omega_2 dt = -\frac{e}{2\pi} \omega_2 dt = -\frac{e}{2\pi} \frac{V}{r_2}$$

Integramos estas dos ecuaciones entre el instante  $t=0$ , y en el instante  $t$ , teniendo en cuenta que en el instante  $t=0$ ,

- el radio de la rueda izquierda es  $r_1=r_0$
- el radio de la rueda derecha es  $r_2=R_0$

$$r_1^2 = r_0^2 + \frac{ev}{\pi}t$$

$$R_2^2 = R_0^2 - \frac{ev}{\pi}t$$

La ecuación utilizada para el cálculo del diámetro del POLY y la TELA es la siguiente:

$$R(t) = \sqrt{R_0^2 - \frac{(e)(v)(t)}{\pi}}$$

**Ecuación 3 Radio del poly ó la tela en función del tiempo**

Y la ecuación utilizada para el cálculo del producto final es la siguiente:

$$R(t) = \sqrt{R_0^2 + \frac{(e)(v)(t)}{\pi}}$$

**Ecuación 4 radio del producto final laminado en función del tiempo**

Donde:

$R(t)$  = Cálculo del radio con respecto al tiempo.

$R_0$  = Radio inicial.

$e$  = Espesor del material.

$v$  = Velocidad de la máquina.

$t$  = Tiempo transcurrido para el cálculo del diámetro.

**Cuadro 9 Radio inicial del poly, tela y producto final laminado.**

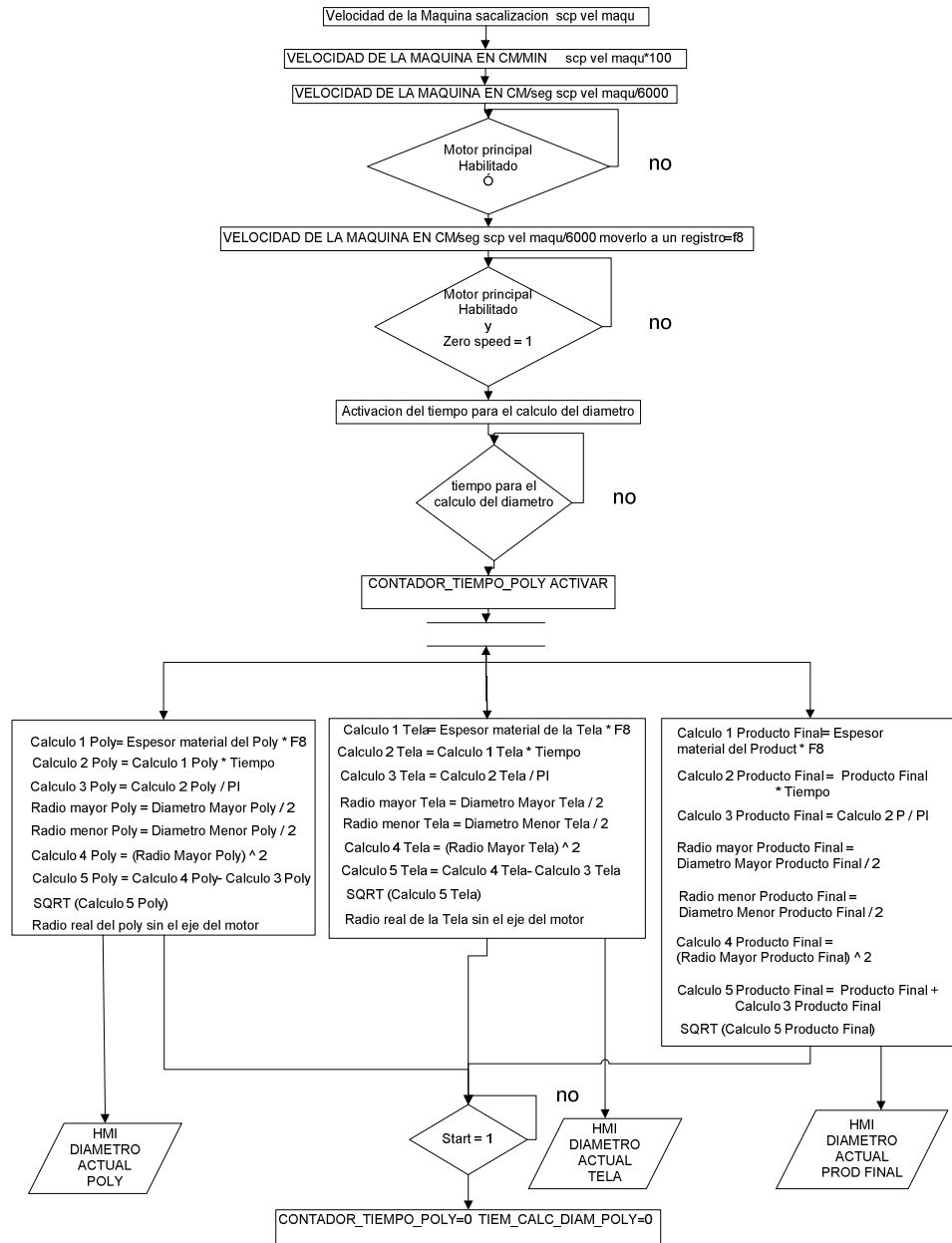
RADIO INICIAL ( $R_0$ )	Aprox(cm)
poly	23.5
tela	42
producto final laminado	5

**Cuadro 10 espesor de poly, tela y producto final laminado.**

ESPESOR (e)	Aprox(cm)
POLY	0.004
TELA	0.007
PRODUCTO FINAL LAMINADO	0.011

Para desarrollar el respectivo cálculo del diámetro del poly, la tela y producto final la secuencia lógica desarrollada en una subrutina del PLC es la siguiente:

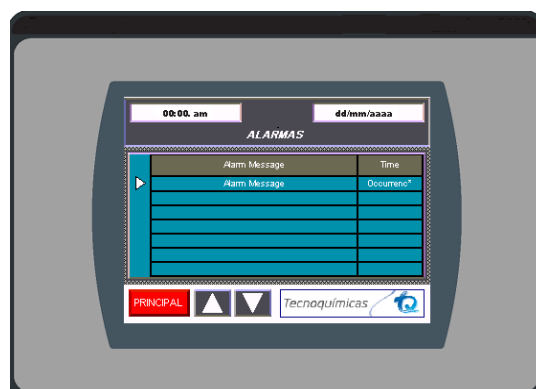
figura 15 diagrama de flujo de la subrutina de calculo.



**6.3.4. Diseño detallado de la sección de detección.** En la etapa de especificaciones establece que la sección de detección interactúa con el operario mediante una interfaz hombre máquina el diseño de esta interfaz ó pantallas es:

Pantalla de Alarmas: **Para ingresar al sistema de alarmas damos clic en el botón de “Alarmas” de la pantalla principal y nos desplegara la siguiente pantalla:**

**Figura 16** pantalla de alarmas.



En esta pantalla se podrá monitorear las alarmas del sistema, en esta pantalla se podrá observar.

❖ el mensaje de alarma.

La sección de detección está compuesta por 4 sensores:

- Sensor que detecta la ausencia del poly.
- Sensor que detecta la ausencia de la tela.
- Sensor que detecta la ausencia del producto final.
- Sensor que detecta máximo diámetro del producto final.

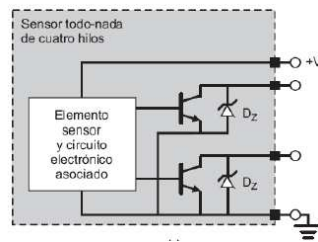
Los sensores deberán estar ubicados en puntos donde no tenga movimiento por ninguna razón para así garantizar la lectura de cada uno de los materiales.

Los sensores para ausencia de poly, tela y producto final son:

- Tipo detectores sin contacto.

- Capacitivos.
- la salida de los sensores debe ser todo ó nada (on/off) digital.
- 4 hilos ver ilustración 16.

**Figura 16 sensor on/off 4 hilos.**



**Cuadro 11 voltajes entradas y salidas de los sensores**

VOLTAJE		Vdc	ESTADO
Voltaje (in)	V <sup>+</sup>	24	VOLTAJE POSITIVAMENTE
	GND	0	TIERRA
Voltaje (out)	NC: estado inicial	24	AUSENCIA DE MATERIAL
	NA: estado inicial	0	AUSENCIA DE MATERIAL

Para desarrollar la respectiva detección del poly, la tela y producto final la secuencia lógica desarrollada por la subrutina en el PLC es la siguiente:

**Figura 17 diagrama de flujo de la subrutina de detección.(a)**

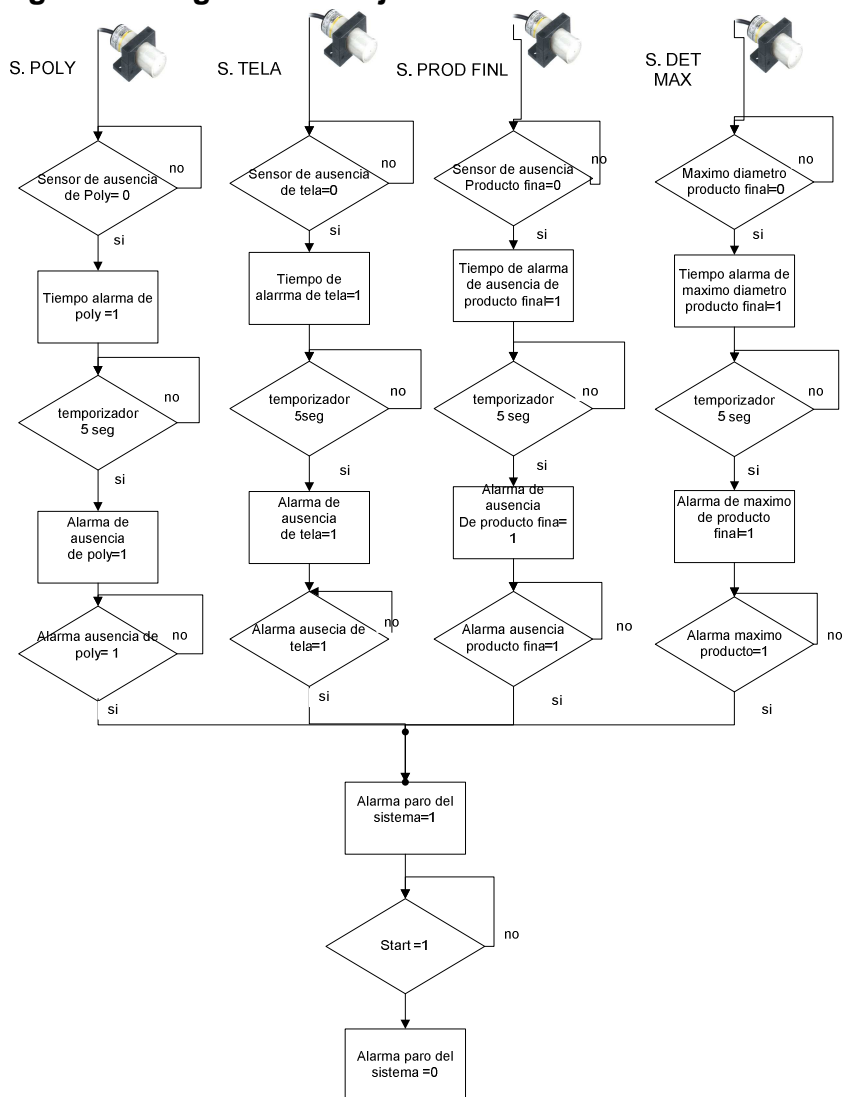
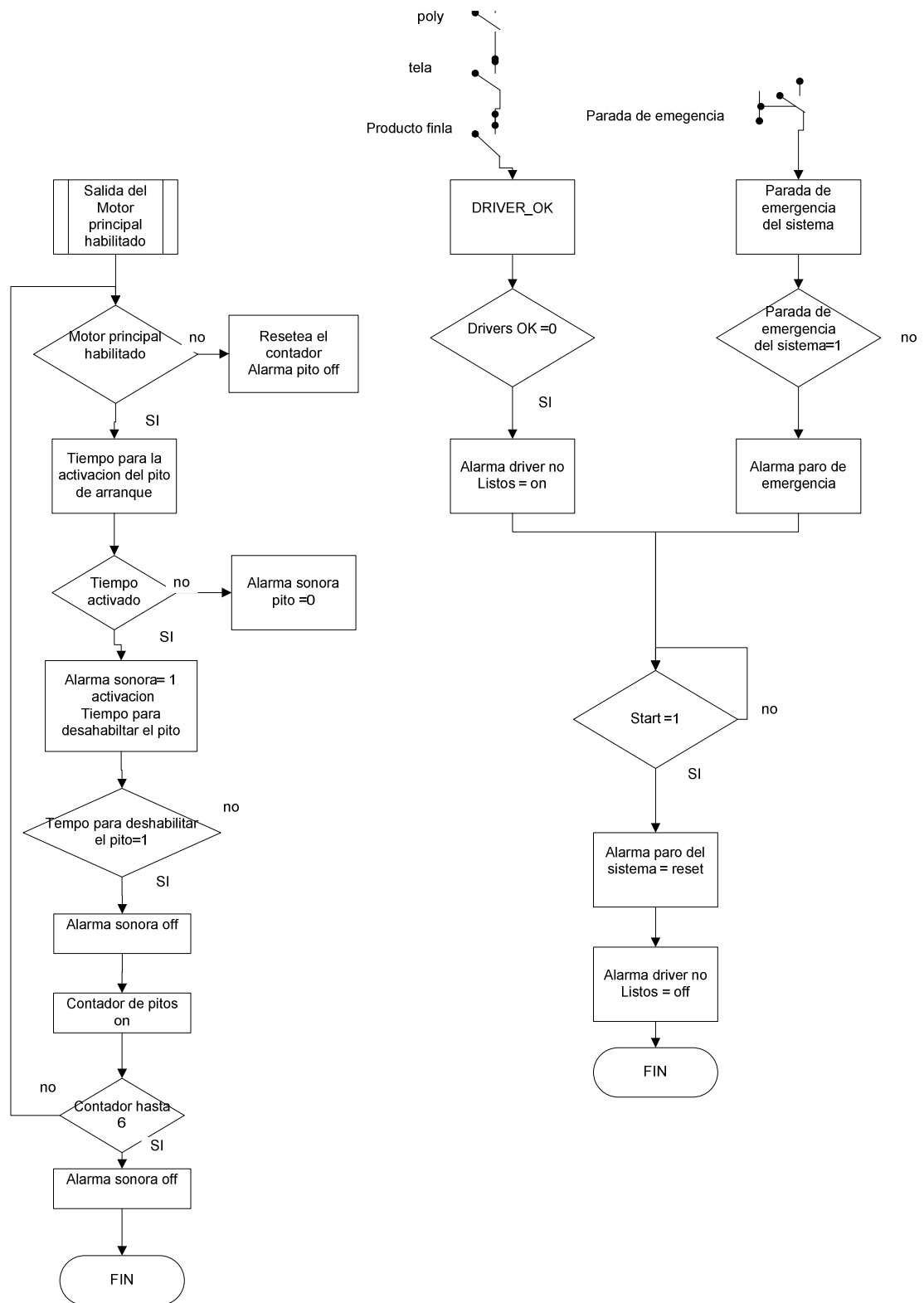




figura 17 diagrama de flujo de la subrutina de detección.(b)



**6.3.5. Diseño detallado de la Sección de control de tensión.** En la etapa de especificaciones establece que la sección de control de tensión interactúa con el operario mediante una interfaz hombre máquina el diseño de esta interfaz ó pantallas es:

- **Pantalla de parámetros de control:**

Para ingresar los parámetros del sistema damos clic en el botón de “Parámetros” de la pantalla principal y nos desplegara la siguiente pantalla:

**Figura 18 pantalla de parámetros.**



En esta pantalla se podrá navegar a la pantalla de parámetros de control de velocidad, parámetros de tensión del Poly y parámetros de tensión de la Tela.

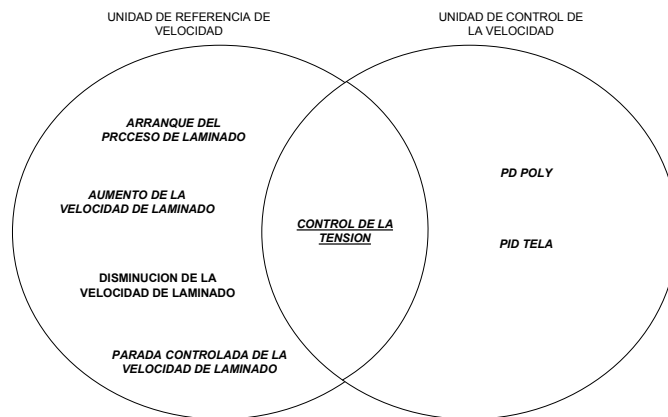
La sección de control de tensión básicamente controla la velocidad de un motor usado para debobinador el material, teniendo como referencia:

- Velocidad de la máquina.
- Posición del Dancer del poly y la tela.

Esta sección esta compuesta por:

- **unidad de referencia de velocidad.**
- **unidad de control de velocidad.**

**Figura 18 unidades de la seccion de control de tension**



Estas unidades en conjunto gestionan el control de la tensión tanto en el poly como en la tela.

### 6.3.5.1. Unidades de referencia de velocidad.

- **Pantalla de Parámetros de control tensión.**

Para ingresar ha los parámetros de velocidad del sistema damos click en el botón de “Parámetros de Control” y nos desplegara la siguiente pantalla:

**Figura 19. pantalla de parámetros del control de la tensión.**



**Set point de subir velocidad:** El operario podrá ingresar el valor de velocidad en el valor que quiera que suba automáticamente, si el valor ingresado es de 350 m/min la velocidad subirá automáticamente hasta el valor ingresado.

**Tiempo de aceleracion:** El operario podrá ingresar el tiempo en el cual se pretende que aumente tanto automática como manual la velocidad, si el operario ingresa 500 ms esta velocidad aumentara cada 500 ms.

**Tiempo de desaceleración:** El operario podrá ingresar el tiempo en el cual se pretende que disminuya tanto automática como manual la velocidad, si el operario ingresa 400 ms esta velocidad disminuirá cada 400 ms.

El valor recomendado para tener un buen control de tensión en el arranque es mayor a 500 ms y parada será mayor a 400 ms.

El proceso parara automáticamente disminuyendo la velocidad a 10 m/min controlando la tensión del material, este proceso se realiza solo si la máquina opera entre 400 y 450 m/min.

- **Pantalla de Arranque:** Para ingresar al arranque del sistema damos click en el botón de “Arranque” de la pantalla principal y nos desplegara la siguiente pantalla:

**Figura 20 Pantalla de arranque.**



En esta pantalla se visualizara la velocidad de la máquina en metros por minuto (m/min).

Cuando el botón “manual/automático” se encuentre en manual la velocidad se podrá aumentar cada vez que se oprima el botón “Aumentar Velocidad” y para disminuir la velocidad cada vez que se oprima en botón “Disminuir Velocidad”.

Cuando el botón “manual/automático” se encuentre en automático la velocidad aumentara solo con oprimir una sola vez el botón “Aumentar Velocidad”, esta velocidad aumentara hasta el setpoint ingresado en la pantalla de parámetros y para disminuir la velocidad en automático damos solo un clic en el botón “Disminuir Velocidad”.

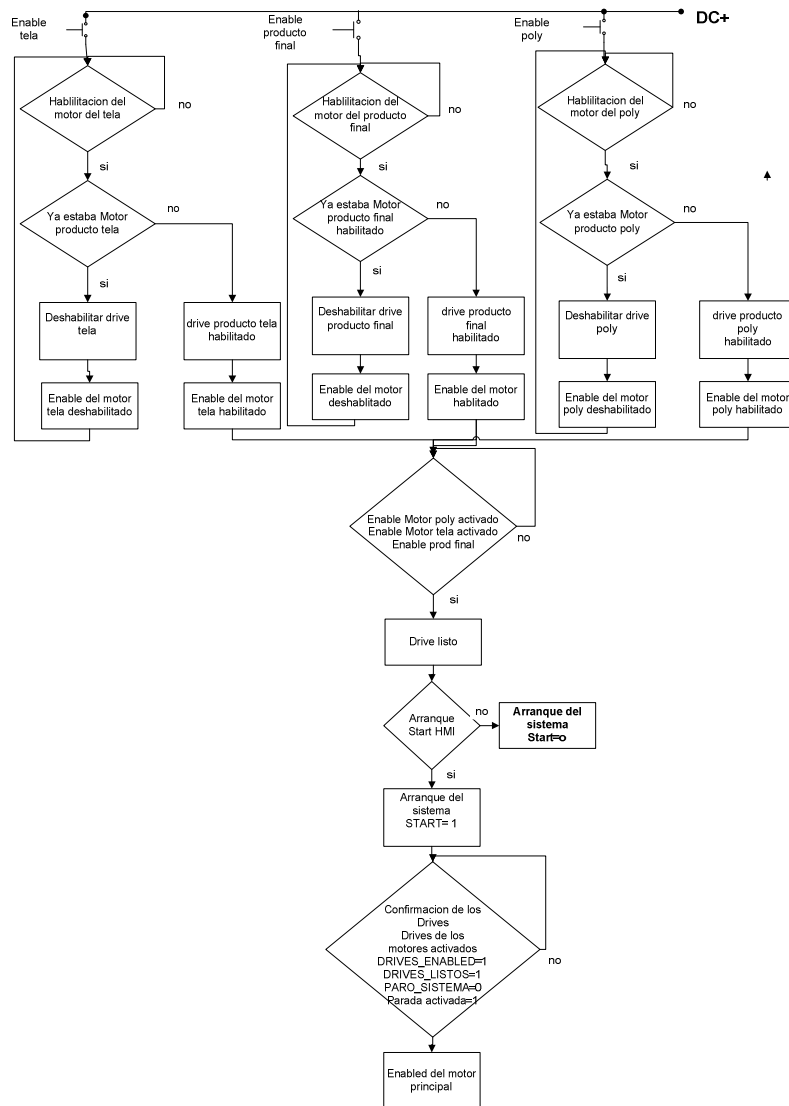
El botón de “Stop” para el proceso de laminado.

La unidad de referencia de velocidad se compone de 5 subrutinas:

- **Arranque del proceso de laminado:**

El arranque del proceso es la subrutina de la unidad de referencia de la velocidad encargada de monitorear la habilitación de los motores del poly, la tela y producto final del laminado con el objetivo de habilitar automáticamente el motor principal, esta restricción garantiza que el motor principal no arranque si el motor del poly o la tela no están habilitados, obteniendo con ello que la dinámica de debobinar, laminar y bobinar se mantenga en todo momento una vez iniciado el proceso de laminado. La secuencia lógica desarrollada por la subrutina en el PLC es la siguiente:

**Figura 21 diagrama de flujo de la subrutina para el arranque del proceso de laminado.**

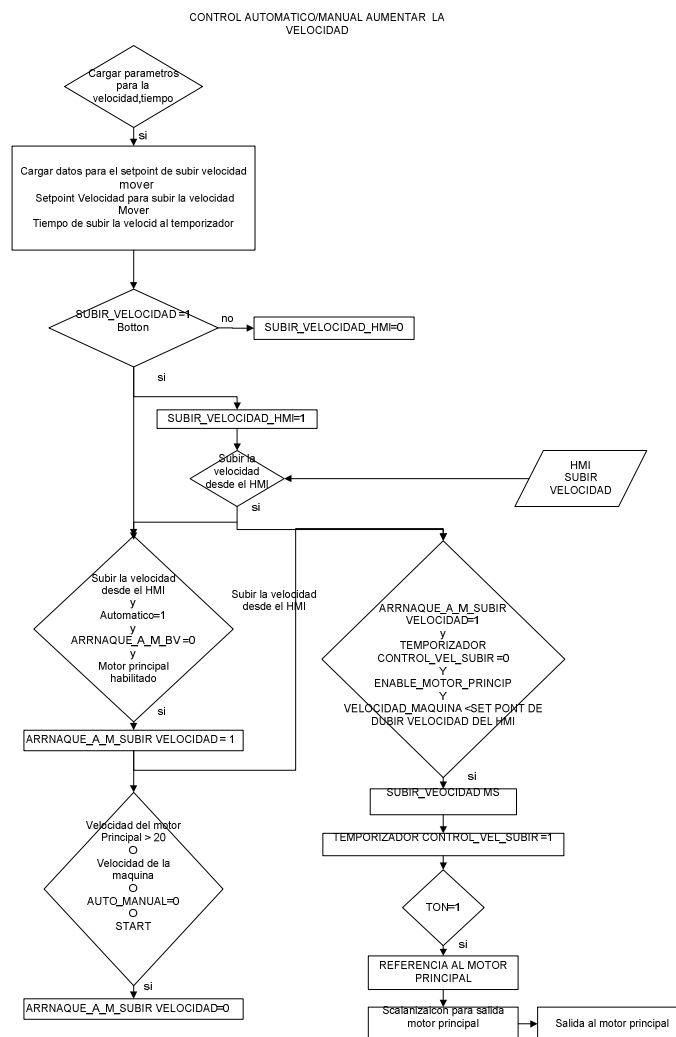


➤ **Aumento de la velocidad de laminado:** el aumento de la velocidad de laminado es una subrutina de la unidad de referencia encargada de indicar la velocidad en aumento que debe efectuar el motor principal ya sea de forma automática o manual.

La velocidad de laminado es previamente definida por el operario como lo es también el tiempo en el que se debe aumentar gradualmente la velocidad hasta el set-point indicado por el operario, una vez llega al limite indicado mantiene la velocidad.

La secuencia lógica desarrollada por la subrutina en el PLC es la siguiente:

**Ilustración 22 diagrama de flujo de la subrutina para aumentar la velocidad del proceso de laminado.**



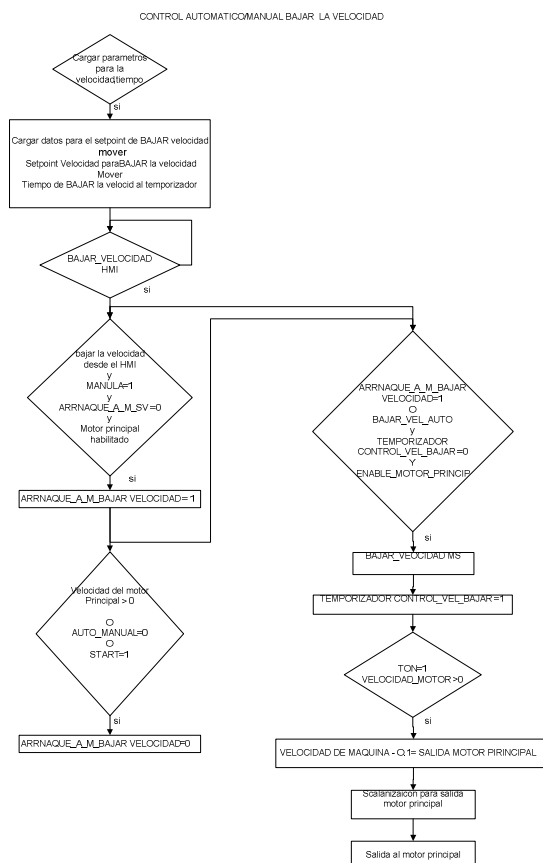
### ➤ Bajar la velocidad de laminado:

La disminución de la velocidad de laminado es una subrutina de la unidad de referencia encargada de indicar la velocidad de disminución que debe efectuar el motor principal ya sea de forma automática o manual.

La velocidad con la que se debe disminuir el proceso de laminado es previamente definida por el operario como lo es también el tiempo en el que debe disminuirse gradualmente la velocidad hasta el setpoint indicado por el operario, una vez llega al límite indicado mantiene la velocidad.

La secuencia lógica desarrollada por la subrutina en el PLC es la siguiente:

**Figura 23 diagrama de flujo de la subrutina para disminuir la velocidad del proceso de laminado.**





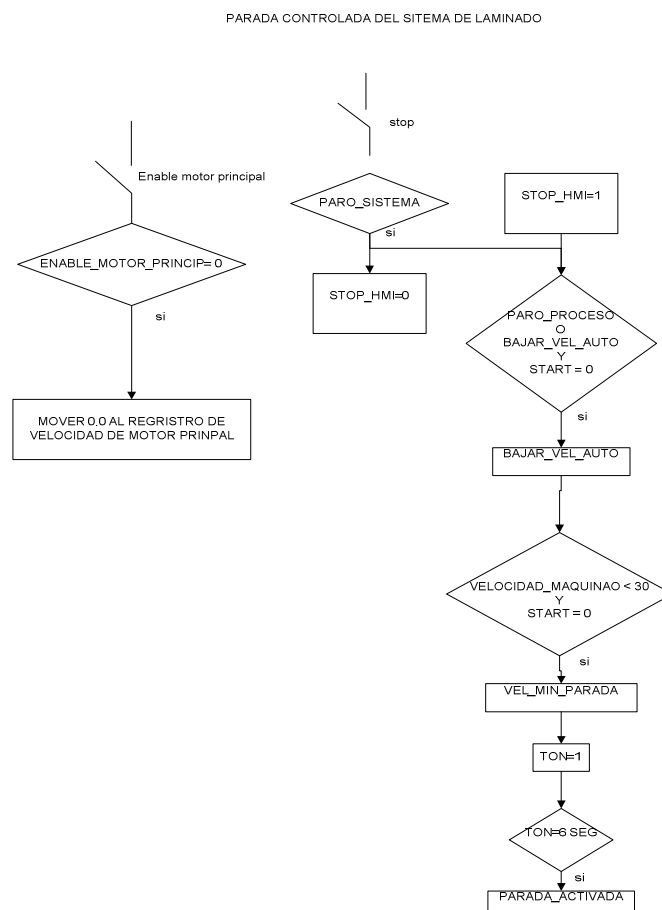
- **Parada controlada del sistema de laminado:**

La parada controlada del sistema de laminado es una subrutina de la unidad de referencia encargada de parar el proceso una vez sea indicado por el operario ó el proceso amerite ser parado, la parada controlada hace referencia a la velocidad que debe disminuir el motor principal hasta llegar á 0ms.

El proceso parara automáticamente disminuyendo la velocidad a 10 m/min controlando la tensión del material, este proceso se realiza solo si la máquina opera entre 400 y 450 m/min.

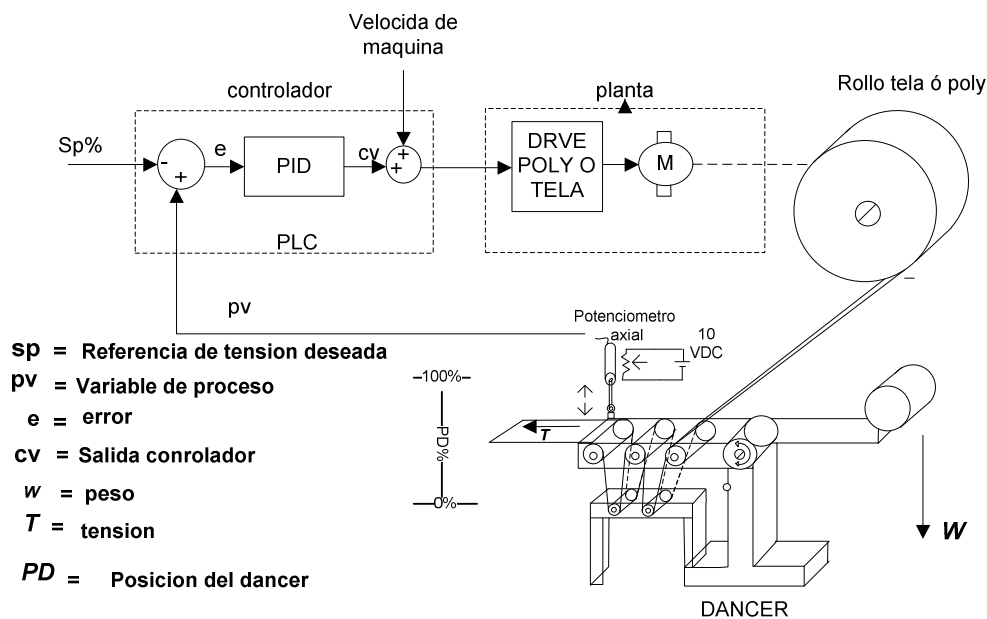
La secuencia lógica desarrollada por la subrutina en el PLC es la siguiente:

**Figura 24 diagrama de flujo de la subrutina de parada controlada del proceso de laminado.**



**6.3.5.2. Unidad de control de velocidad.** La unidad de control de velocidad se compone de un mecanismo de control por realimentación que se encarga de calcular la desviación entre un valor medio entregado por el potenciometro axial y el porcentaje que se desea se mantenga el dancer, este mecanismo de control se compone de tres parámetros conocidos como P.I.D.

**Figura 25 Bucla del control de la velocidad del motor del poly ó la tela.**



Para ingresasr los parametos P.I.D el operario mediante la siguiente interfaz ó pantallas como son:

- Parámetros PID poly.
- Parámetros PID tela.

- **Parámetros control PID poly**

Para ingresar a los parámetros de control de tensión del Poly damos clic en el botón de “Parámetros control tensión Poly” y nos desplegara la siguiente pantalla:

**Figura 26 pantalla de los parámetros del PID del Poly.**



Para el control del poly se podrá ingresar en setpoint de 0 a 100 %, este setpoint nos indica la posición en la se mantendrá el dancero del poly, también se podrá ingresar los parámetros del PID como la constante proporcional, la constante integral y la constante derivativa y también se podrá ingresar la prioridad que se le asignara el PID de 0 a 100%.

Cada vez que se ingrese cualquier parámetro de la pantalla “PARAMETROS CONTROL TENSION POLY” se deberá oprimir el botón “CARGAR” ubicado en la parte inferior de la pantalla.

- **Parámetros del control PID tela.** Para ingresar a los parámetros de control de tensión de la Tela damos clic en el botón de “Parámetros control tensión Tela” y nos desplegara la siguiente pantalla:



**Ilustración 27 pantalla de parámetros del PID TELA.**

Para el control de la tela se podrá ingresar en setpoint de 0 a 100 %, este setpoint nos indica la posición en la se mantendrá el dancer de la tela, también se podrá ingresar los parámetros del PID como la constante proporcional, la contante integral y la constante derivativa y también se podrá ingresar la prioridad que se le asignara el PID de 0 a 100%.

Cada vez que se ingrese cualquier parámetro de la pantalla “PARAMETROS CONTROL TENSION TELA” se deberá oprimir el botón “Cargar” ubicado en la parte inferior de la pantalla.

Como muestra la ilustración 25 se observa la bucla de control para regular la velocidad del motor ya sea del poly ó la tela. El PLC cuenta con la instrucción PID la cual debe seguir el siguiente procedimiento para su implementación:

- *Escalado de la señal del potenciómetro axial del dancer.*
- *Escalado del setpoint de referencia del dancer.*
- *Configuración del modo de avance o retroceso de la desviación del error.*
- *Ajustes de parámetros PID.*

➤ **Escalado de la señal del potenciómetro axial (PV) :**

La señal del voltaje salida del POTENCIOMETRO AXIAL es 0 a 10vdc, proporcional al rango de 0% a 100%, mientras que la PV (tensión) establecida por el nivel en el dancer del proceso debe permanecer entre:

50 % para el poly.

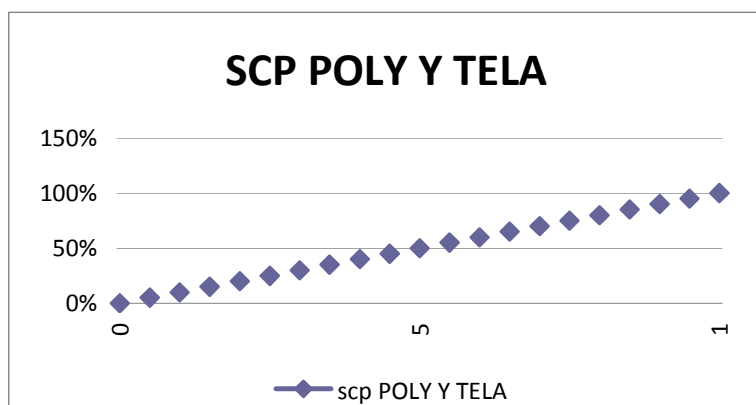
55% para la tela.

Cada valor de voltaje que entrega el potenciómetro axial tiene su representación en valores enteros según el modulo analógico de entrada ver cuadro 21.

**Cuadro 12 representación de valores de enteros para cada rango de voltaje de entrada .**

Rango	Representación
Voltaje/Corriente	en Enteros
10Vdc a +10Vdc	-32.768 a 32.767
0 a 10Vdc	0 a 32.767
0 a 5Vdc	0 a 16.384
1 a 5Vdc	3.277 a 16.384
-20mA a +20mA	-16.384 a +16.384
0 a 20mA	0 a 16.384
4 a 20mA	3.277 a 16.384
0 a 1mA	0 a 1000

**Ilustración 28 escalado de la señal del potenciómetro axial del poly y la tela SCP (escalado de datos)**



La ilustración 30 muestra el correspondiente SCP (escalado de datos) donde función que rige su comportamiento viene dado por:

$$y = mx + b$$

Donde:

$$\text{valor escalizado} = (\text{valor de entrada} * m + \text{offset})$$

$$m = \frac{(\text{escalado max} - \text{escalado min})}{\text{entrada max} - \text{entrada min}}$$

**Datos escalados:**

Scp dacer poly  
Input= I:2.1  
Input min=0  
Input max =32767  
Smax =16383  
Smin= 0

Scp dancer tela  
Input= I:2.2  
Input min= 0  
Input max =32767  
Smax = 16383  
Smin=0

### ➤ **ESCALADO DEL SETPOINT Ó REFERENCIA.**

Debido a que la variable de proceso Se trabajara en unidades de ingeniería la instrucción del PID en el PLC permite indicar un setpoint Max y setpoint Min.

El escalado *MinS - MaxS* permite trabajar en unidades de ingeniería. La banda muerta, error y SPV también se muestran en unidades de ingeniería. La variable de proceso, PV, debe estar dentro del rango 0 a 16383. El uso de *MinS - MaxS* no minimiza la resolución PID PV.<sup>12</sup>

*POLY MinS =0*

*TELA MinS =0*

*POLY MaxS =100*

*TELA MaxS =100*

---

<sup>12</sup> El escalado *MinS - MaxS* [consultado 17 de FEBRERO de 2010]. Disponible en Internet:  
[http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1762-rm001\\_-es-p.pdf](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1762-rm001_-es-p.pdf)

➤ **CONTROL MODO ACCIÓN DE AVANCE Ó RETROCESO.**

El avance ó retroceso, alterna los valores:

$$e=SP-PV \text{ y } e=PV-SP.$$

La acción de avance ( $E=PV-SP$ ) hace que la variable de control aumente cuando la variable del proceso es mayor que el punto de ajuste.

$$(E=PV-SP)$$

La acción de retroceso ( $E=SP-PV$ ) hace que la variable de control disminuya cuando la variable del proceso es mayor que el punto de ajuste.

$$(E=SP-PV)$$

$$POLY \text{ CM} = I$$

$$TELA \text{ CM} = I$$

➤ **AJUSTE DE PARAMETROS PID**

La instrucción PID del PLC usa el siguiente algoritmo para la salida de control de la variable:

$$\text{output CV} = K_c \left[ (e) + \frac{1}{T_i} \int (e) dt + T_d D(PV) \right] + BIAS$$

- CV= salida
- Kc = constante de ganancia del controlador ( adimensional)
- Ti = constante de ganancia de reset (minutos por repetición)
- Td = constante de ganancia (minutos)
- dt = tiempo entre muestreos (minutos)
- Bias = feedforward
- E = error, igual a (PV-SP) o (SP-PV)
- PV = variable de proceso.

### Cuadro 13 rangos de operación de la ganancia, tiempo integrativo y tiempo derivativo

Termino	Range (Low to High)	Referencia
Controller Gain	0.1 to 25.5 (dimensionless)	Proporcional
	0.01 to 327.67 (dimensionless)*	
Reset Term Ti	25.5 to 0.1 (minutes per repeat)	Integral
	327.67 to 0.01 (minutos per repeat)*	
Rate Term TD	0.01 to 2.55 (minutos)	Derivativo
	0.01 to 327.67 (minutos)*	

Se designa la siguiente estrategia para entregar la salida de referencia a los drive del poly de la tela

La ecuación principal de control de velocidad es la siguiente:

OUTPUT VAR\_VEL = (VC \* P PID) + (Vm \* P Vm) donde:

OUTPUT VAR\_VEL = Salida al variador de velocidad del POLY.

VC = del PID del POLY.

P PID = Prioridad del PID del POLY.

Vm = Velocidad de la máquina.

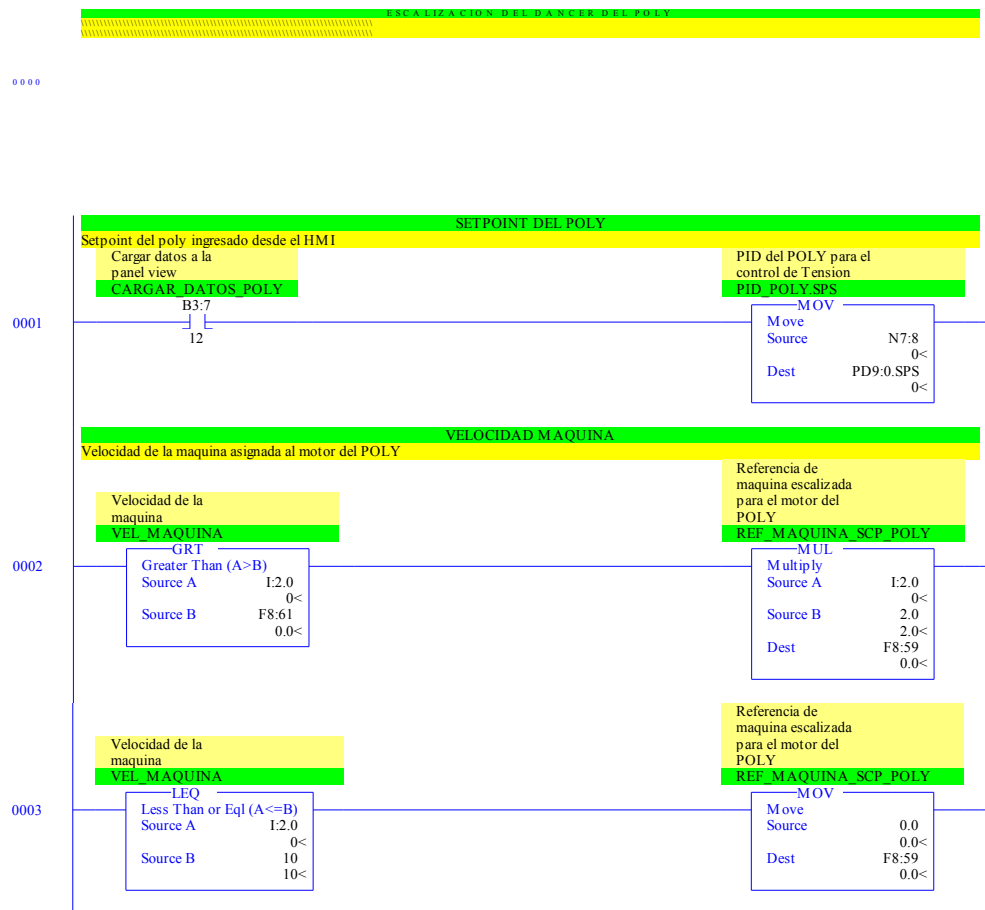
P Vm = Prioridad de la velocidad de la máquina.

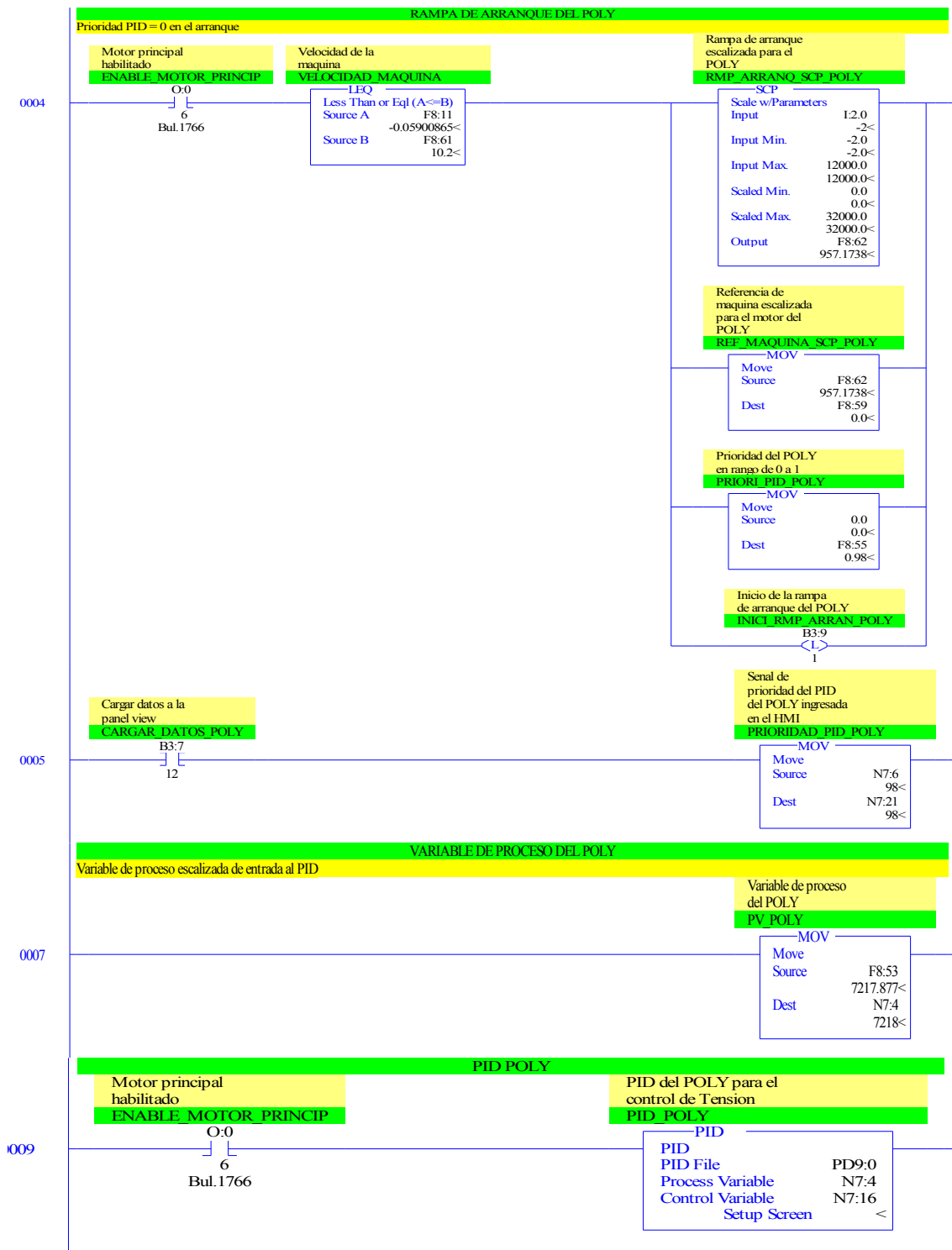
Para sintonizar el PID (valores de Kc, Ti, td ) utilizamos la regla de Ziegler-Nichols Debido a su difundido uso en la INDUSTRIA, El respectivo procedimiento es el siguiente:

1. Cree su programa de lógica de escalera. Asegúrese de haber escalado correctamente la entrada analógica al rango de la variable del proceso PV y que haya escalado correctamente la variable de control CV con respecto a la salida analógica.

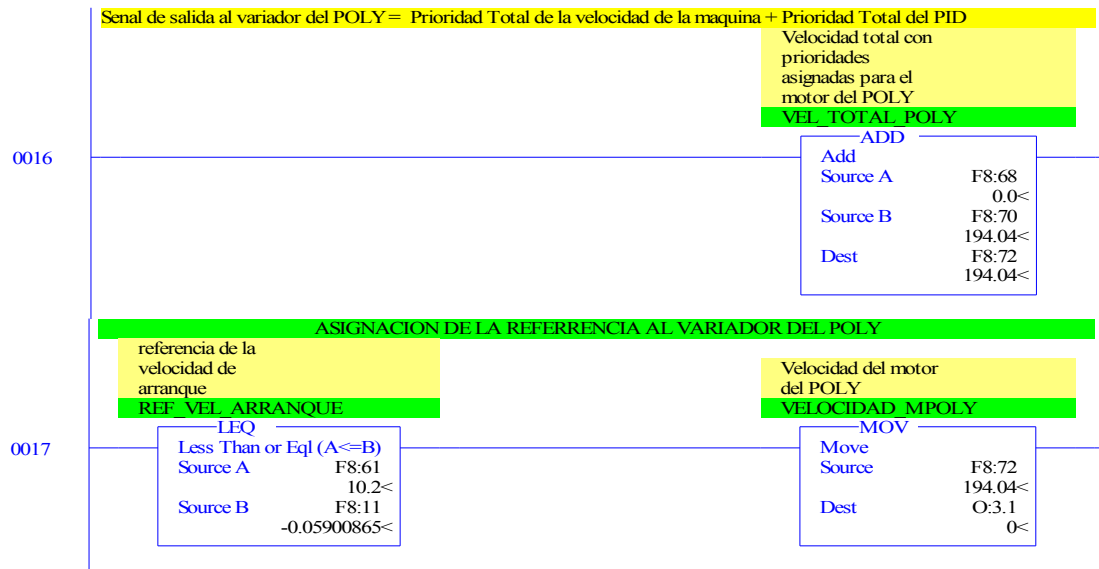


Ilustración 29 ladder para la implementación de PID



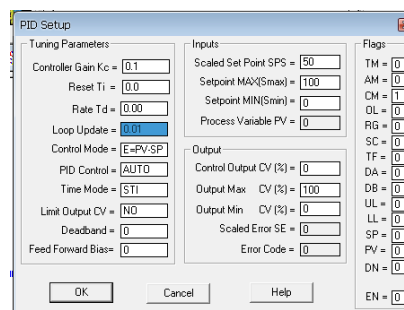


0010	ESCALIZACION DE LA VARIABLE DE CONTROL DEL POLY	
	Variable de control del POLY	CV POLY
0012	SCP Scale w/Parameters Input N7:16 99< Input Min. N7:17 0< Input Max. N7:18 16383< Scaled Min. N7:19 0< Scaled Max. N7:20 32767< Output N7:2 198<	
	CALCULO DE PRIORIDAD Calculo de la prioridad automatica con respecto a la prioridad del PID Ejemplo: Si la prioridad del PID es 90 % automaticamente se le asigna 10% a la prioridad de la velocidad de la maquina LINEA 1 (Prioridad PID POLY) - 1 = (prioridad velocidad maquina poly) CALC_PRIO_MAQUIL_POLY	
0013	SUB Subtract Source A F8:55 0.98< Source B 1.0 1.0< Dest F8:64 -0.01999998<	
	LINEA 2 Prioridad de la maquina del POLY PRIORI_MAQUINA_POLY	
0014	ABS Absolute Value Source F8:64 -0.01999998< Dest F8:66 0.01999998<	
	CALCULO DE PRIORIDAD Prioridad Total de la velocidad de la maquina = Referencia de maquina * Prioridad asignada Prioridad total de la velocidad de la maquina para Poly PRIO_TOT_MAQUIN_POLY	
0014	MUL Multiply Source A F8:59 0.0< Source B F8:66 0.01999998< Dest F8:68 0.0<	



7. Conecte el equipo de control de proceso a los módulos analógicos. Descargue el programa al procesador. Deje el procesador en el modo de programación.
8. Introduzca los siguientes valores: el valor de punto de ajuste SP inicial, un restablecimiento Ti de 0, un régimen Td de 0, una ganancia Kc de 1 y una actualización de lazo de 0.01.

**Figura 30 CONFIGURACION DE LA INSTRUCCION PID**

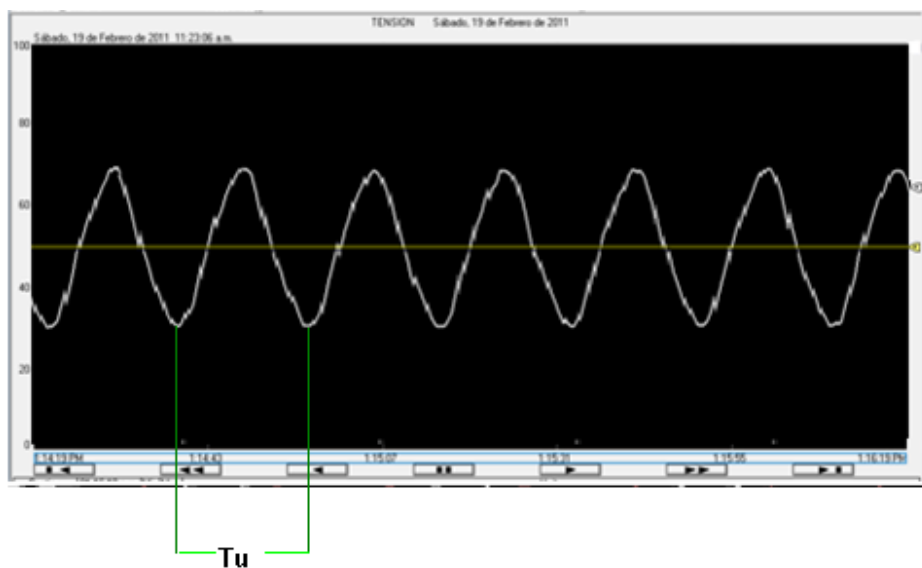


4. graficar los valores de CV, PV, entrada analógica y salida analógica ya que varían con el tiempo respecto al valor del punto de ajuste SP.

5. A continuación, partiendo de un valor bajo de la ganancia proporcional,  $K_p$ , vamos aumentando ésta gradualmente hasta conseguir un comportamiento oscilatorio mantenido en la respuesta del sistema tal como muestra la ilustración 28. A esta ganancia la llamaremos  $K_U$

El otro parámetro que nos hace falta es el periodo de oscilación del sistema para esta ganancia, que llamaremos  $T_U$ , y que se observa con el trenzado que muestra la ilustración 28.

**Figura 31 oscilación de la variable proceso.**



Con los valores de  $K_U$  y  $T_U$  calculamos con base en la cuadro 23 de Ziegler-Nichols los Parámetros correspondientes.

**Cuadro14 parámetros del controlador PID**

Controlador	$K_p$	$K_i$	$K_d$
PID	$0.6K_U$	$2/T_U$	$0.125T_U$

Obteniendo los siguientes datos:

$$T_u = 17 \text{ seg}$$

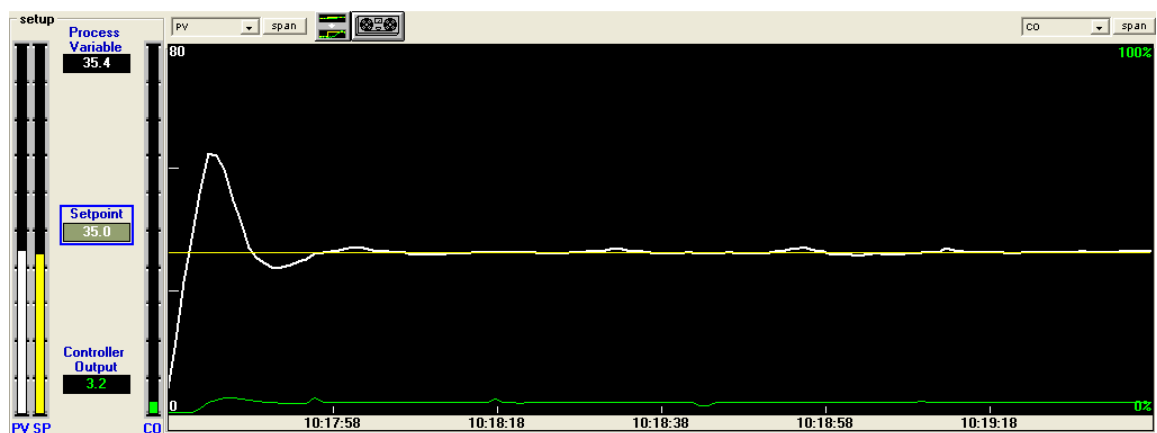
$$k_u = 14.666$$

$$k_p = 0.08 \quad k_i = 0.11 \quad T_i = 0.002$$

Para mayor precisión en sintonización de los parámetros del controlador se utiliza la herramienta de rockwell RSTune software la cual es compatible con el procesador del micrologix 1400 vea anexo artículo RSTUNE PARA SINTONIZACION DE PID.

Con la herramienta de RSTune se obtuvieron los siguientes resultados

**Figura 32 SINTONIZACION DEL POLY**

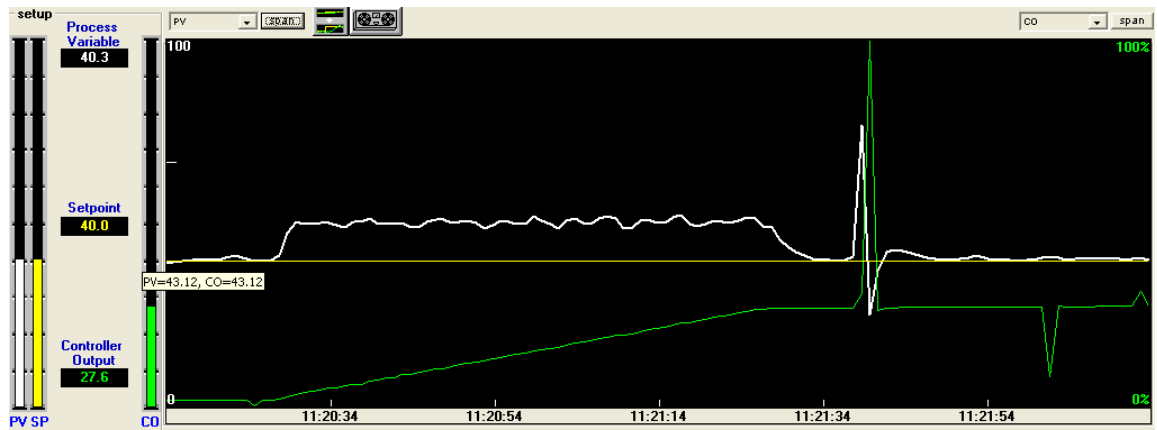


Constante Proporcional ( $K_c$ ) = 1

Constante Integral ( $K_i$ ) = 1

Constante Derivativa ( $T_d$ ) = 9

**Figura 33 SINTONIZACION DEL PID TELA**



Constante Proporcional ( $K_c$ ) = 1

Constante Integral ( $K_i$ ) = 1

Constante Derivativa ( $T_d$ ) = 1

Setpoint = 55

LOS DATOS OBTENIDOS TANTO DEL PID DEL POLY DE LA TELA SON RESULTADOS DEL PROCESO EFECTUADO EN LA LAMINADORA 2, DEBIDO A QUE LA LAMINADORA 1 NO CUENTA CON UN DISPOSITO PROGRAMABLES PARA DICHA INSTRUCCION.

**Figura 34 diagrama de flujo de la subrutina para controlar la velocidad del sistema de debobinado.**

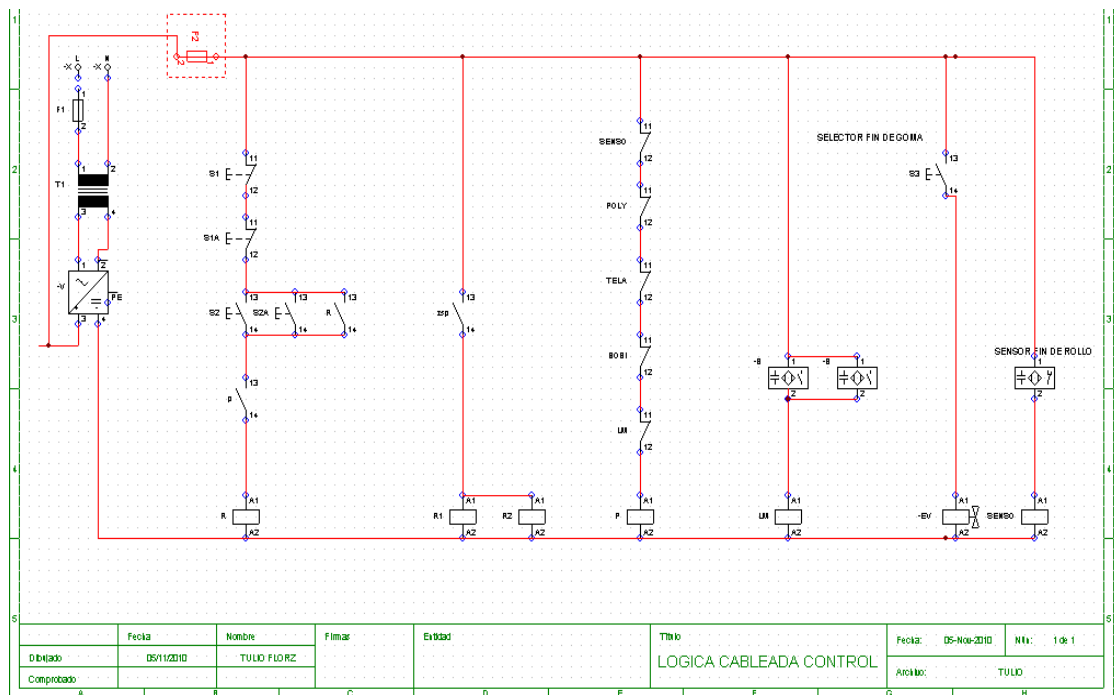




## 6.4. ETAPA DE DISEÑO ARQUITECTURAL.

En la ilustración 21 se muestra la lógica cableada para el sistema de control actual en la laminadora 1 con sus respectivos componentes ver cuadro 12

**figura 35 esquema conexión actual del sistema de control de la laminadora 1**

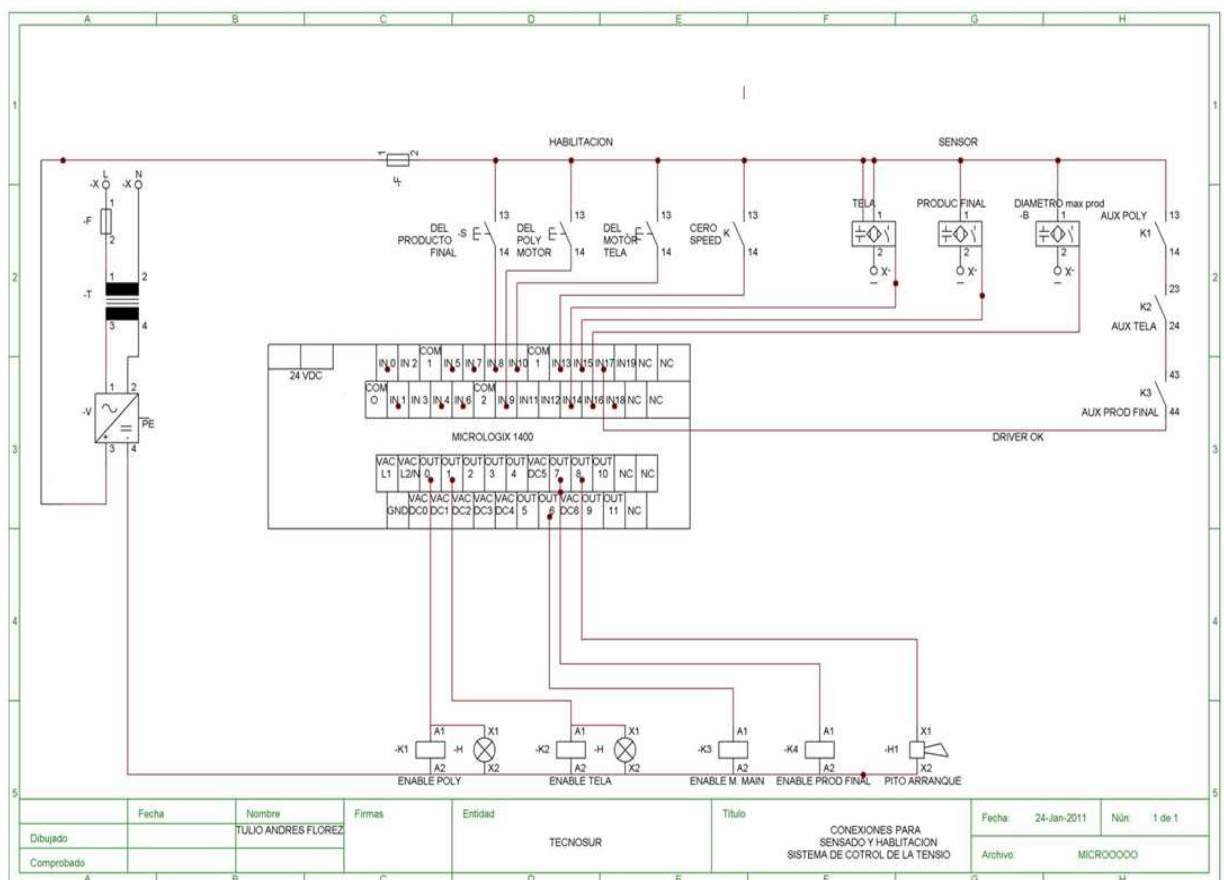


**Figura 15 componentes del esquema de conexión**

<b>NOMBRE</b>	<b>COMPONENTE EXISTENTES</b>
S1	STOP
S1A	STOP AUXILIAR
S2	STAR
S2A	STAR AUXILIAR
R	CONTACTOR DRIVE PRINCIPAL
R1	CONTACTOR DRIVE POLY Y LA TELA
R2	CONTACTOR DRIVE BOBINADOR
EV	CONTACTOR ELECTRO VALVULA GOMA
P	CONTACTO DE PROTECCION
S3	SELECTOR GOMA
SENSO	CONTACTO DEL SENSOR D EPRSENCIA DE MATERIAL
POLY	Enable del motor de Poly
TELA	Enable del motor de la Tela
BOBI	Enable del motor de producto final
F1	FUSIBLE
T1	TRANSFORMADOR

**6.4.1. Conexión De Entradas Y Salidas Micrologix 1400(1766-L32bwa).** En la ilustración 22 se muestra la configuración de I/O del PLC miclogix 1400 PROPUESTA para el diseño del sistema de control tensión en la laminadora 1 con sus cuadros de entrada y salidas ver cuadro 13,14.

**figura 36 esquema de Configuración I/O del PLC Micrologix 1400.**



**Cuadro 16 entradas del micrologix 1400 (1766-L3)**

<b>ENTRADAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>I:0/2</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/3</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/4</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/5</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/6</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/7</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/8</b>	Enable del motor de producto final
<b>I:0/9</b>	Enable del motor de Poly
<b>I:0/10</b>	Enable del motor de la Tela
<b>I:0/13</b>	Cero Speed del motor principal
<b>I:0/14</b>	Sensor Ausencia Tela
<b>I:0/15</b>	Sensor Ausencia Producto Final
<b>I:0/16</b>	Sensor Diámetro Máximo producto Final
<b>I:0/17</b>	Drivers OK
<b>I:0/18</b>	<b>NC</b>
<b>I:0/19</b>	<b>NC</b>

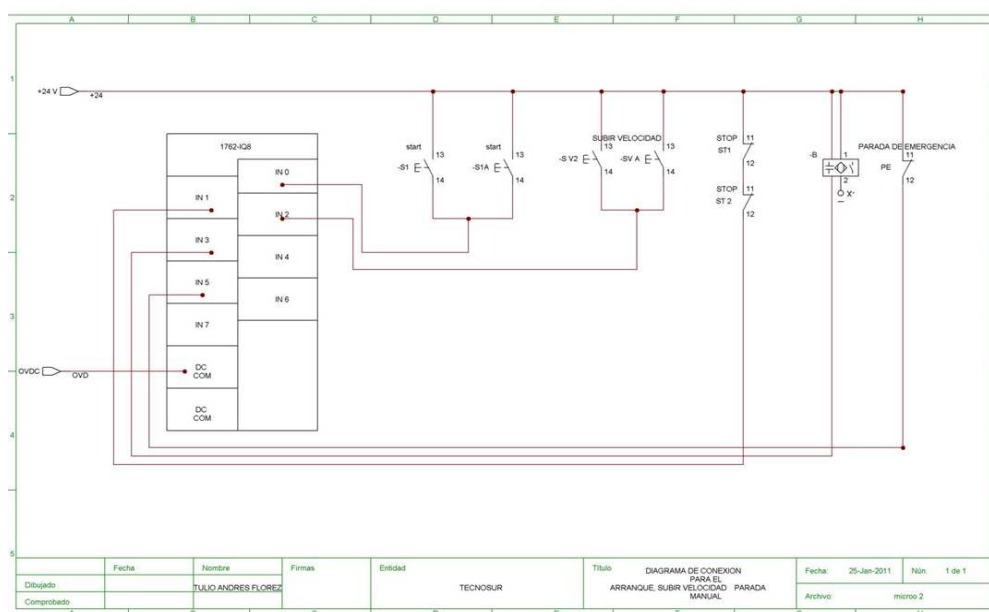
**Cuadro 17 salidas del micrologix 1400(1766-L32BWA)**

<b>SALIDAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>O:0/0</b>	Enable del motor de Poly
<b>O:0/1</b>	Enable del motor de Tela
<b>O:0/2</b>	<b>NC</b>
<b>O:0/4</b>	<b>NC</b>
<b>O:0/5</b>	<b>NC</b>
<b>O:0/6</b>	Enable del motor Principal
<b>O:0/7</b>	Enable del motor Producto Final
<b>O:0/8</b>	Pito
<b>O:0/9</b>	<b>NC</b>
<b>O:0/10</b>	<b>NC</b>
<b>O:0/11</b>	<b>NC</b>

#### 6.4.2. conexión de entradas y salidas de los módulos de expansión.

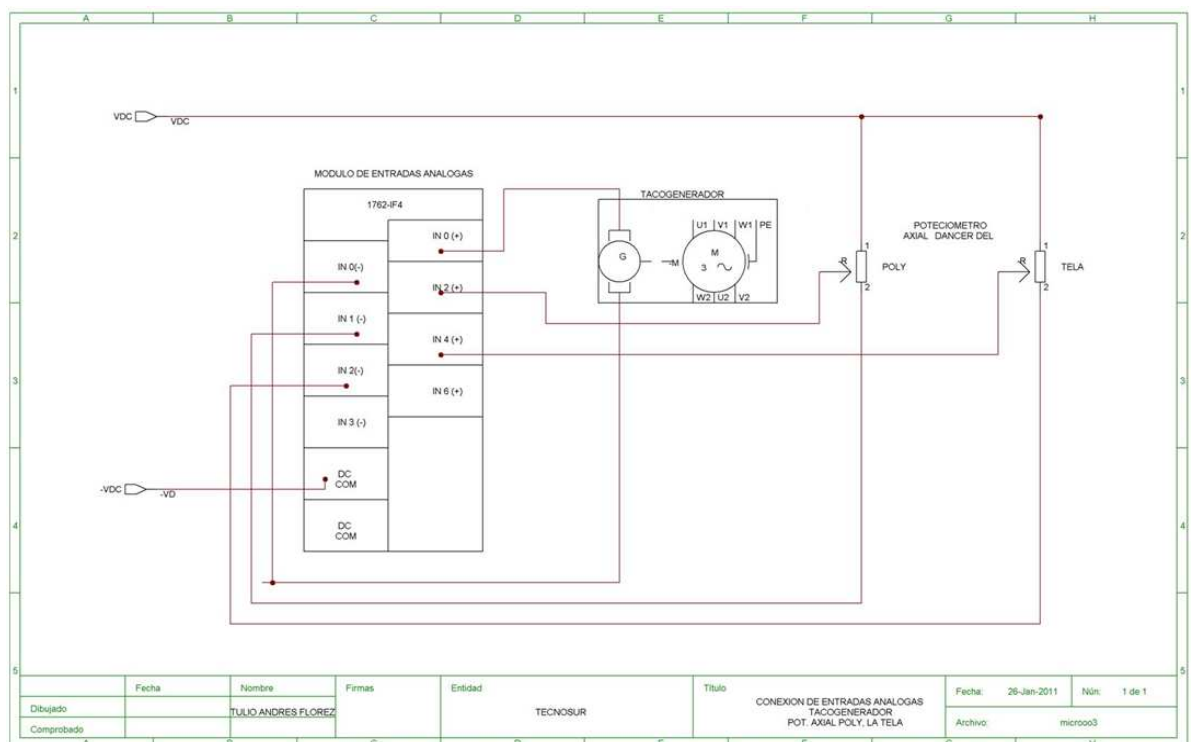
**Conexión De Entradas del módulo 1762-IQ8.** En la ilustración 23 se observa el bloque de entradas de E/S a relé de expansión del 1762-IQ8 al cual se conectarán las señales del Start del sistema y Reset de las alarmas del sistema, Paro del sistema, Subir Velocidad del motor Principal, Sensor Ausencia Poly.

**Figura 37 configuración del modulo 1762-IQ8**



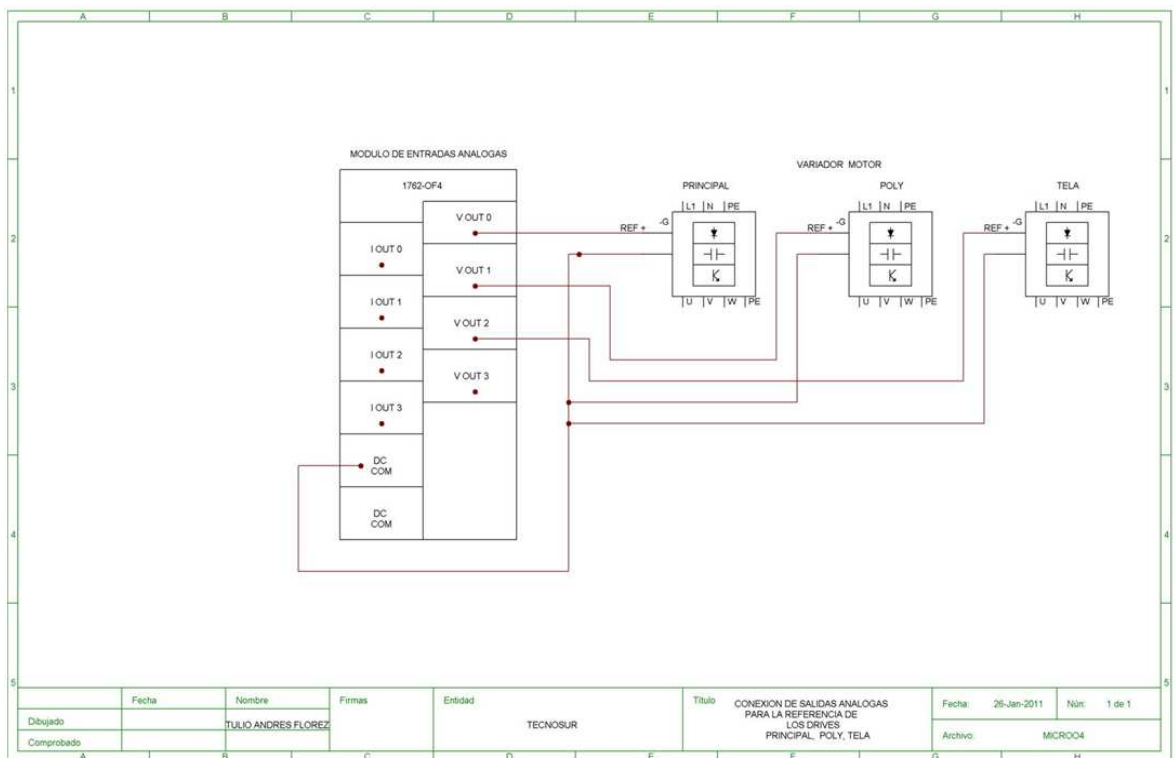
**6.4.3. Conexión de entradas del modulo 1762-if4** En la ilustración 24 se observa el bloque de terminales de E/S analógicas de expansión del 1762-IF4 al cual se conectarán las señales de Velocidad de la máquina, Referencia del potenciómetro poly y Referencia del potenciómetro de la tela.

**Figura 38 configuración del modulo 1762-If4**



**6.4.4. Conexión de entradas i/o del modulo of4.** En la ilustración 25 se observa el bloque de terminales de E/S analógicas de expansión del 1762-OF4 al cual se conecta la señal de Referencia para el Motor Principal, motor poly y el motor de la tela.

**Figura 39 Configuración de I/O DEL MODULO Of4**



**Cuadro18 entradas del modulo 1762-IQ8.**

<b>ENTRADAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
I:1/0	Start del sistema y Reset de las alarmas del sistema
I:1/1	Paro del sistema
I:1/2	Subir Velocidad del motor Principal
I:1/3	Sensor Ausencia Poly
I:1/5	Paro de emergencia

**Cuadro 19entradas del modulo 1762-IF4**

<b>ENTRADAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
I:2.0	Velocidad del la máquina
I:2.1	Dancer del POLY
I:2.2	Dancer del la TELA

**Cuadro 20salidas del modulo 1762-OF4.**

<b>SALIDAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
O:3.0	Referencia del variador del Motor Principal
O:3.1	Referencia al variador del Motor del Poly
O:3.2	Referencia al variador del Motor de la Tela



<b>DIRRECCION</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>SIMBOLO</b>
B3:6/0	Drives de los motores activados	DRIVES_ENABLED
B3:6/1	Confirmación de los drives	DRIVES_LISTOS
B3:6/3	Alarma de ausencia de poly	ALARMA_AUSENCIA_POLY
B3:6/4	Alarma de ausencia de tela	ALARMA_AUSENCIA_TELA
B3:6/5	Alarma de ausencia de producto final	ALARMA_AUSENCIA_PFIN
B3:6/6	Alarma diámetro máximo del producto final	ALARMA_DIAM_MAX_PFIN
B3:6/7	alarma del paro del sistema	ALARMA_PARO_SISTEMA
B3:6/11	Arranque desde en HMI	START_HMI
B3:6/13	Paro desde en HMI	STOP_HMI

C5:2	CONTADOR_TIEMPO_POLY
C5:3	CONTADOR_TIEMPO_TELA
C5:4	CONTADOR_TIEMPO_PFIN

B3:8/8	Habilita drive del PRODUCTO FINAL	HABILITA_DRIVE_PF_ON
B3:8/10	Desabilita drive del PRODUCTO FINAL	DESABI_DRIVE_PF_OFF
B3:8/11	Habilita drive del POLY	HABILITA_DRIVE_P_ON
B3:8/13	Desabilita drive del POLY	DESABI_DRIVE_P_OFF
B3:9/1	Inicio de la rampa de arranque del POLY	INICI_RMP_ARRAN_POLY
B3:9/3	Inicio de la rampa de parada del POLY	INICI_RMP_PARAD_POLY
B3:9/4	Paro del proceso	PARO_PROCESO
B3:9/5	Baja la velocidad automatica para parar el proceso	BAJAR_VEL_AUTO
B3:9/7	Velocidad minima para par el proceso	VEL_MIN_PARADA
B3:9/8	Parada activada	PARADA_ACTIVADA
B3:9/10	Inicio de la rampa de arranque de la TELA	INICI_RMP_ARRAN_TELA
B3:9/12	Inicio de la rampa de parada de la TELA	INICI_RMP_PARAD_TELA
B3:9/13	Habilita drive de la TELA	HABILITA_DRIVE_T_ON
B3:9/15	Desabilita drive de la TELA	DESABI_DRIVE_T_OFF
B3:10/8	Reset del conteo de munero de mediciones buenas y totales	RESET_CONTEO_HMI
B3:13/9	paro del sistema	
B3:13/15	eliminar bit	
C5:5	CONTADOR_PITO	
F8:0	Velocidad del motor principal	
F8:1	Tiempo total para el calculo del diametro del poly	
F8:2	Diametro mayor poly	
F8:3	Diametro menor poly	
F8:4	Diametro mayor tela	

F8:5	Diametro menor tela
F8:6	Diametro mayor producto final
F8:7	Diametro menor producto final
F8:8	Radio mayor del poly
F8:9	Radio mayor de la tela
F8:10	Radio mayor del producto final
F8:11	Velocidad de la máquina
F8:12	Calculo de la velocidad en CM/MIN
F8:13	Calculo de la velocidad en CM/CSEG
F8:14	Espesor del poly
F8:15	Espesor de la tela
F8:22	Diamtro actual del poly
F8:23	Radio menor del poly
F8:24	Radio menor de la tela
F8:25	Radio menor del producto final
F8:26	Radio del poly sin el eje del motor
F8:27	Radio de la tela sin el eje del motor
F8:28	Setpoint para subir la velocidad
F8:29	Tiempo acumulado de cada confirmacion del poly
F8:36	Diamtro actual de la tela
F8:37	Espesor del producto final
F8:44	Radio del producto final sin el eje del motor
F8:45	Diametro actual del producto final
F8:48	Calculo de la velocidad en CM/CSEG
F8:49	Tiempo acumulado de cada confirmacion del tela
F8:50	Tiempo total para el calculo del diametro de la tela
F8:51	Tiempo acumulado de cada confirmacion del producto final
F8:52	Tiempo total para el calculo del diametro del producto final
F8:53	Dancer del Poly Escalizada
F8:54	Dancer de la Tela Escalizada
F8:55	Prioridad del POLY en rango de 0 a 1
F8:56	Prioridad de la TELA en rango de 0 a 1
F8:57	pioridad del POLY/100
F8:58	pioridad de la TELA/100
F8:59	Referencia de máquina escalizada para el motor del POLY
F8:60	Referencia de máquina escalizada para el motor de la TELA
F8:61	referencia de la velocidad de arranque

F8:62	Rampa de arranque escalizada para el POLY
F8:63	Rampa de arranque escalizada para la TELA
F8:64	(Prioridad PID POLY) - 1 = (prioridad velocidad máquina poly)
F8:65	(Prioridad PID TELA) - 1 = (prioridad velocidad máquina tela)
F8:66	Prioridad de la máquina del POLY
F8:67	Prioridad de la máquina de la TELA
F8:68	Prioridad total de la velocidad de la máquina para Poly
F8:69	Prioridad total de la velocidad de la máquina para la Tela
F8:70	Prioridad total de del PID para el Poly
F8:71	Prioridad total de del PID para la Tela
F8:72	Velocidad total con prioridades asignadas para el motor del POLY
F8:73	Velocidad total con prioridades asignadas para el motor de la TELA
F8:74	Rampa de parada escalizada para el POLY
F8:75	Rampa de parada escalizada para la TELA
F8:76	Cargar datos para el setpoint de subir velocidad
F8:77	Radio para el calculo del perimetro
N7:0	Tiempo ingresado para el control de subir velocidad
N7:1	Tiempo ingresado para el control de bajar velocidad
N7:2	Variable de control del POLY
N7:3	Variable de control de la TELA
N7:4	Variable de proceso del POLY
N7:5	Variable de proceso de la TELA
N7:6	Senal de prioridad del PID del POLY ingresada en el HMI
N7:7	Senal de prioridad del PID de la TELA ingresada en el HMI
N7:8	Setpoint del POLY ingresado en el HMI
N7:9	Setpoint de la TELA ingresado en el HMI
N7:10	Constante proporcional del poly ingresada el HMI
N7:11	Constante proporcional de la tela ingresada el HMI
N7:12	Constante integral del poly ingresada el HMI
N7:13	Constante integral de la tela ingresada el HMI
N7:14	Constante derivativa del poly ingresada el HMI
N7:15	Constante derivativa de la tela ingresada el HMI
N7:21	Senal de prioridad del PID del POLY ingresada en el HMI
N7:22	Senal de prioridad del PID de la TELA ingresada en el HMI

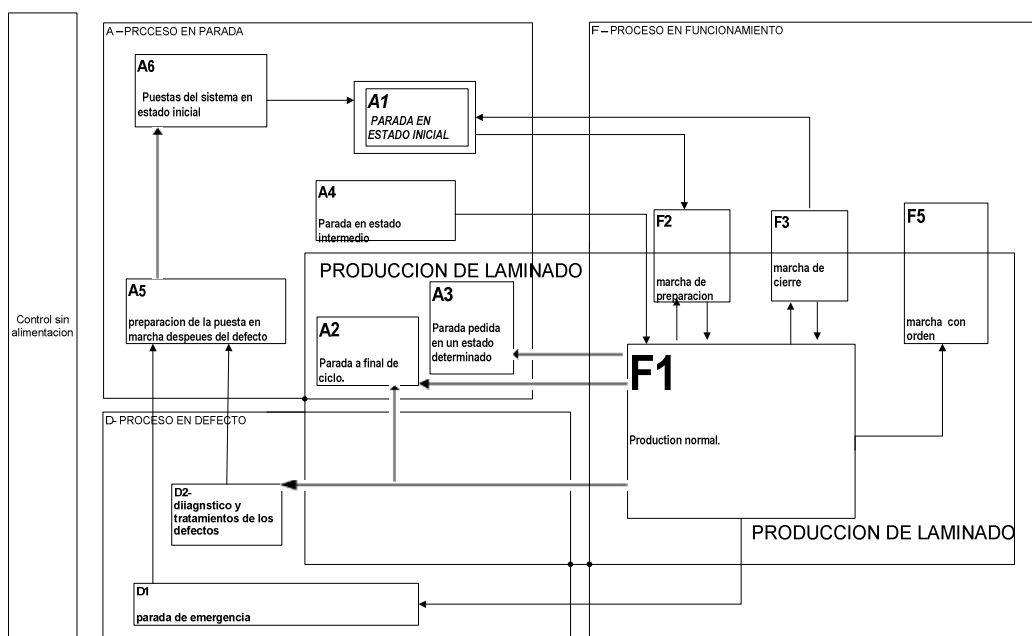
T4:6	Tiempo para el calculo del diametro del Poly	TIEM_CALC_DIAM_POLY
T4:7	Tiempo para alarmar ausencia de politileno	TIEMPO_ALARMA_POLY
T4:8	Tiempo para alarmar ausencia de tela	TIEMPO_ALARMA_TELA
T4:9	Tiempo para alarmar ausencia de producto final	TIEMPO_ALARMA_PFINAL
T4:10	Tiempo para el calculo del diametro del producto final	TIEM_CALC_DIAM_PFINA
T4:11		TIEMPO_PARADA

#### 6.4.5. Arquitectura de los algoritmos para la producción y control del laminado. Cuando el control está alimentado, el sistema puede estar en:

- En funcionamiento
- Parado (o en proceso de parada)
- En defecto.

La ilustración 38 representa cada una de las cuatro situaciones (sin alimentar, funcionamiento, parada y defecto) mediante rectángulos y la producción mediante un quinto rectángulo que se intercepta con los tres rectángulos principales.

**Figura 40 ARQUITECTURA DE LOS ALGORITMOS PARA LA PRODUCCION Y CONTROL DE LAMNADO.**



Cada una de las situaciones mencionadas se puede subdividir en varias de forma que, al final, hay 13 estados de funcionamiento posibles.

#### **F1: Procedimientos de funcionamiento.**

Es el estado en el que la máquina produce normalmente, este estado  
Se le puede asociar un GRAFCET que llamaremos GRAFCET principal

#### **F2 Marcha de preparación.**

Corresponde a la preparación de la máquina para el funcionamiento, este estado  
Se le puede asociar un GRAFCET que llamaremos GRAFCET de arranque.

#### **F2 Marcha de cierre.**

Corresponde a la fase antes de parar el proceso de laminado o algunas características en el proceso de laminado, este estado  
Se le puede asociar un GRAFCET que llamaremos GRAFCET bajar velocidad.

#### **F5 Marchas de verificación en orden.**

En este caso la máquina realiza el ciclo completo de funcionamiento en orden pero al ritmo fijado por el operador, este estado Se le puede asociar un GRAFCET que llamaremos GRAFCET aumento de velocidad + control de velocidad

#### **A1 Parada en el estado inicial.**

Es el estado normal de reposo de la máquina. Se representa con un rectángulo doble. Habitualmente, con la etapa inicial de un GRAFCET.

#### **A2 Parada pedida a final de ciclo.**

Es un estado transitorio en el que la máquina, que hasta aquel momento estaba produciendo normalmente, debe producir sólo hasta acabar el ciclo actual y pasar a estar parada en el estado inicial.

#### **A3 Parada pedida en un estado determinado.**

Es un estado transitorio en el que la máquina, debe producir sólo hasta llegar a un punto del ciclo diferente del estado inicial.

#### **A4 Parada obtenida.**

Es un estado de reposo de la máquina diferente del estado inicial.

#### **A5 Preparación para la puesta en marcha después del defecto.**

Corresponde a la fase de vaciado, limpieza o puesta en orden que en muchos casos se ha de hacer después de un defecto.

**A6 Puesta del sistema en el estado inicial.**

El sistema es llevado hasta la situación inicial (A1), desde situaciones Diferentes a la producción (accionamientos manuales o semiautomáticos).

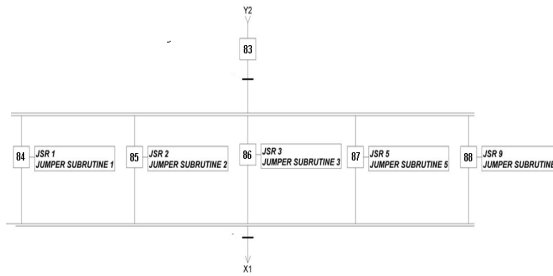
**D1 Parada de emergencia.**

Contiene todas aquellas acciones necesarias para llevar el sistema a una Situación de parada segura.

**D2 Diagnóstico y/o tratamiento de los defectos.**

Permite, con o sin ayuda del operador, determinar las causas del defecto y eliminarlas.

**Figura 41 Grafcet principal**



**Figura 42 Arranque del proceso de laminado subrutina 1**

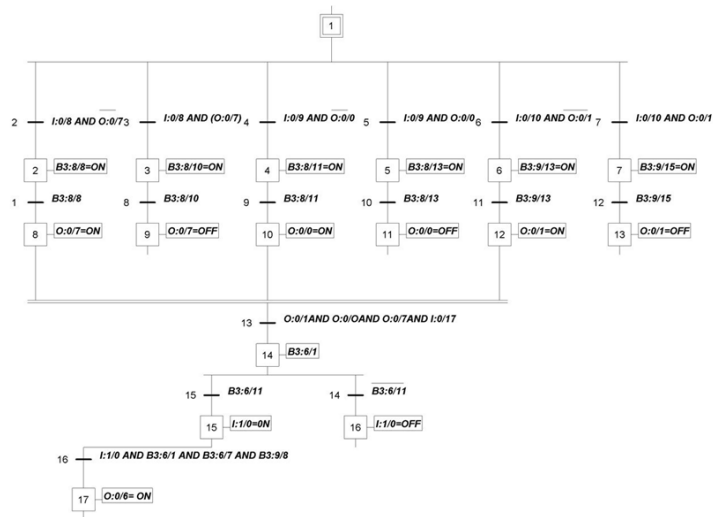


Figura 43 Grafcet alarmas del proceso de laminado subrutina 2

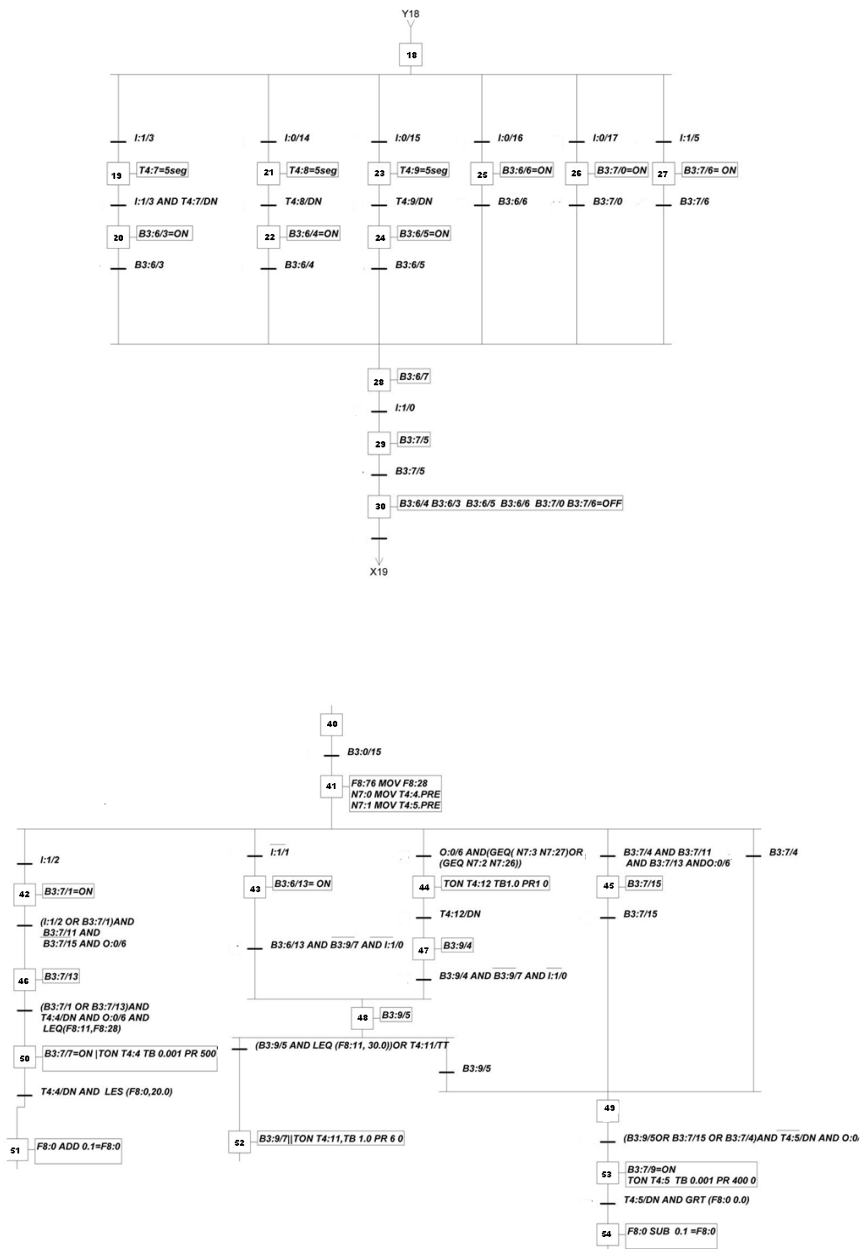




Figura 42 Grafcet calculo del diámetro subrutina 3

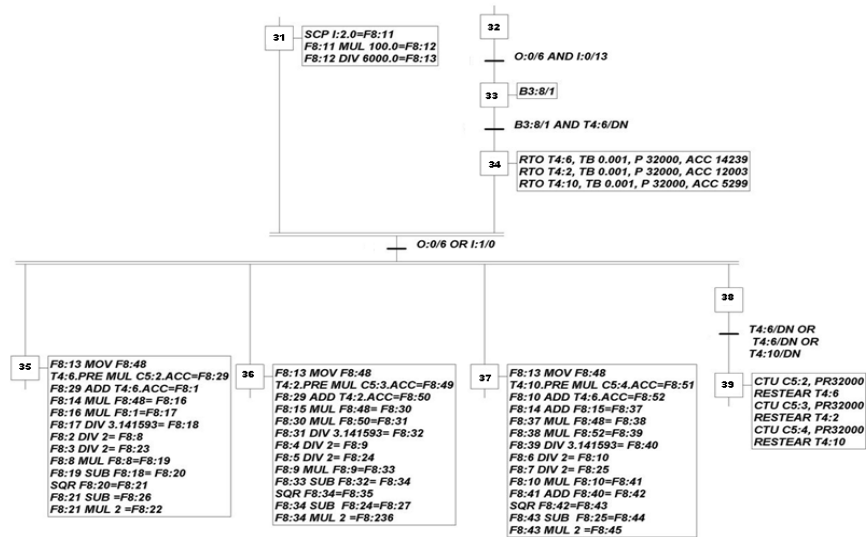


Figura 43 Grafcet velocidad del proceso subrutina 5

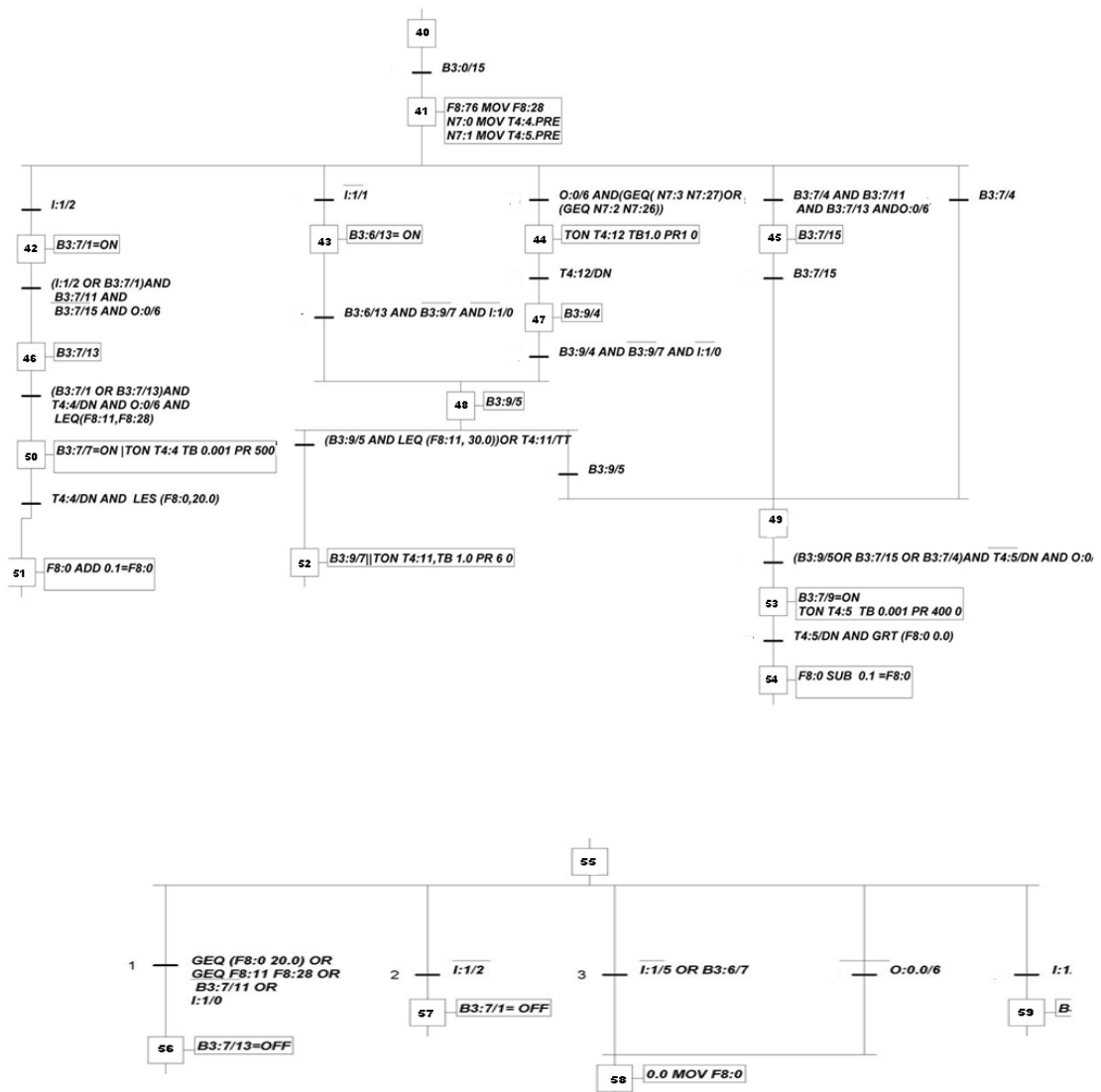
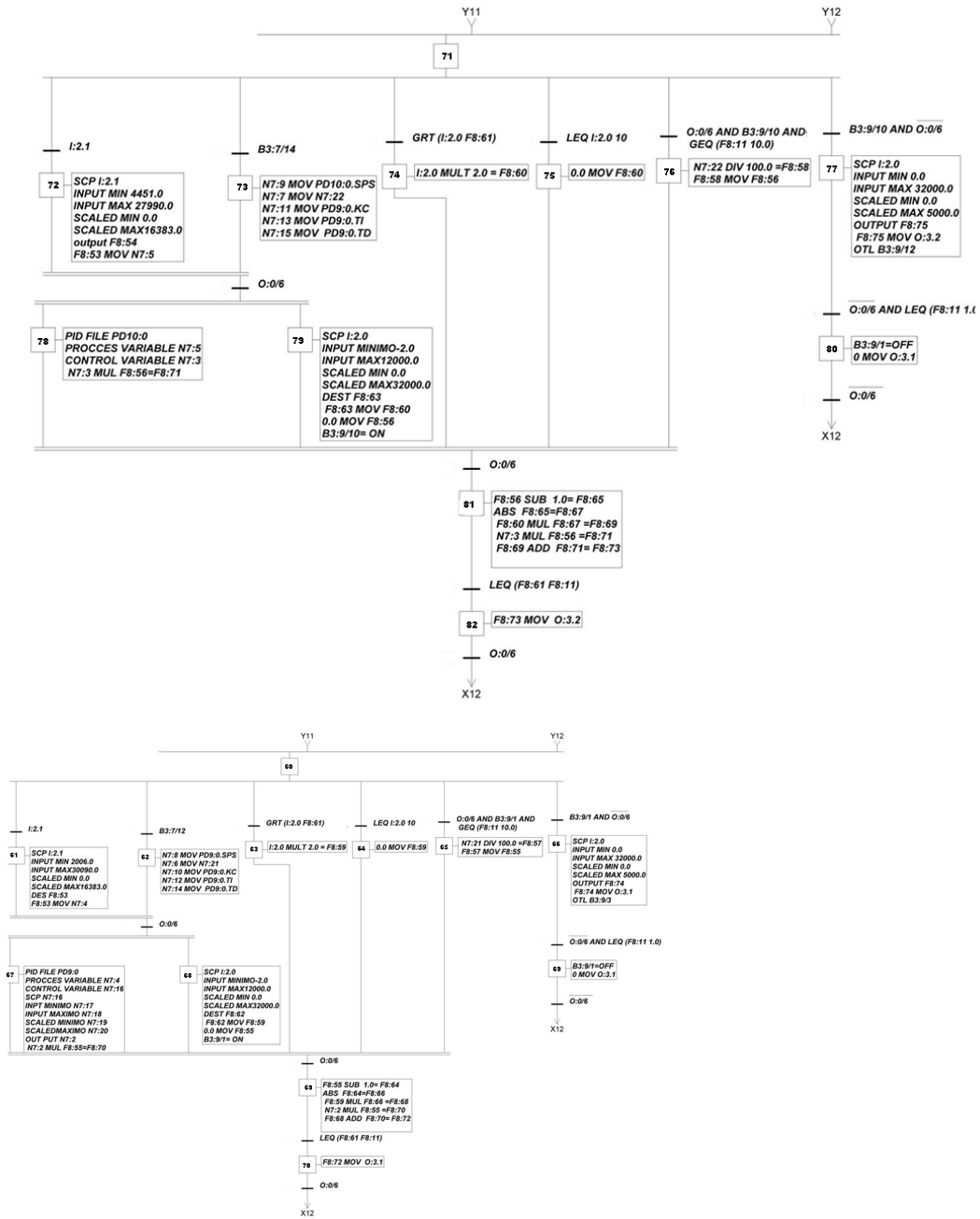


Figura 44 control de tensión



### 6.5.1. Etapa de selección . Selección de los dispositivos del sistema control de tensión

Los dispositivos con los que se pueden desarrollar el sistema de control de tensión son:

COTIZACION PARA LA AUTOMATIZACION DE LA LAMINADOR 1					
elementos	item	descripcion	cantidad	costo x uni	valor total
ELEMENTOS HOMBRE - MÁQUINA	<i>touch panel</i>	PanelView Plus 600 Keypad, grayscale, Ethernet, RS-232 & Modular Communication Interface, AC power	1	\$ 1.640.625,00	\$ 1.640.625,00
	<i>caja botonera telemaquine 6 posiciones</i>	Están destinadas a comandar y/o señalizar arranques, paradas, movimientos de pequeñas tensión,	1	\$ 129.375,00	\$ 129.375,00
	<i>Pulsadores paro y arranque</i>	PULSADOR XB4BA31 VERDE NA	6	\$ 28.770,00	\$ 172.620,00
ELEMENTOS PARA EL CONTROL					
	<i>Sensor fotoeléctrico miniatura</i>	Sensore fotoeléctrico miniatura tipo reflex	3	\$ 161.000	\$ 483.000,00
	<i>reles para salida del plc</i>	Componente eléctrico para la conexión entre el PLC y los actuadores	6	\$ 41.476	\$ 248856
	<i>base de rele</i>	Base para el item anterior	1	\$ 20.199	\$ 20.199,00
	<i>PLC AB 1400</i>	MICROLOGIX 1400 10 ENT DIG 24VDC, 2 ENT ANALOG 0-10VDC, 6 SAL RELE, 110VAC ALIM	1	\$ 1.406.250,00	\$ 1.406.250,00
	<i>Fuente de alimentación para PLC</i>	Fuente marca PHOENIX Voltaje de alimentación 85-264 VAC, salida de 24VDC a 5 amp	1	\$ 261	\$ 261,00

<b>ELEMENTOS PARA LA CONEXIÓN</b>	<i>cables de enconder</i>	Parejas de cables trenzados para las señales diferenciales x 50m	1	\$ 300.900,00	\$ 300.900,00
	<i>cable vehículo</i>	cableado de baja tension para conexiones internas en tableros de control x 50m	100	\$ 358,00	\$ 35.800,00
	<i>cable cauchutado</i>	Cable de conexión entre componentes de potencia x100m	1	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
<b>ELEMENTOS PARA LA PROTECCION</b>	<i>cofre metálico para panel doble fondo</i>	Cofre metálico rectangular, con ventilación y aislamiento, para la ubicación del Panel view	1	\$ 252.000,00	\$ 252.000,00
	<i>conectores coraza</i>	Sirve como sistema de amortiguamiento vibraciones de los motores	1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
	<i>foros espirales</i>	para el agrupamiento de los cables agrupamineto de cables	1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
	<i>amarraaderas de plásticos</i>	amarraaderas prxtical de plasticos	1	\$ 9.850,00	\$ 9.850,00
<b>ESTRUCTURA</b>	<b>CORREAS E TRANSMISION</b>	<b>SIRVEN PARA ELEMENAR LAS BANDAS TANGENCIALES, OCASIONANDO QUE LA ROTACION DEL EJE DEL MOTOR SEA DIRECTA EN EL DEBOBINADO</b>	2	\$ 7.650,00	\$ 15.300,00
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>TECNICO MECANICO</b>		2		\$ -
	<b>TECNICO ELECTRONICO</b>		2		\$ -
	<b>DISEÑADOR DEL SISTEMA DE CONTROL</b>		1	3000000	\$ 3.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>				<b>\$ 7.775.036,00</b>
	<b>IMPREVISTOS 10%</b>				<b>\$ 777.503,00</b>
	<b>TOTAL REAL CON IVA</b>				<b>\$ 9.920.945,68</b>

## **6. CONCLUSIONES**

La realización del diseño del sistema de control de tensión fue interesante e integral, ya que para su satisfactoria realización, fue necesario de alguna u otra forma conocimientos de diferentes áreas como los son mecánica, control, electromecánica y automatización.

Cada uno de los objetivos planteados fueron desarrollados con satisfacción gracias a la metodología implementada que conllevo a conocer los requisitos que exigía tecnosur con ello se planteo las especificaciones técnicas y diseño detallado que dieron lugar a la selección de los dispositivos según el diseño planteado para el sistema de control.

En el diseño detallado enmarca la solución a los requerimientos exigidos por la compañía tecnosur para el sistema de control de tensión para laminadora 1 sin desmeritar las otras etapas de la metodología, pero el diseño detallado conforma cada detalle que se debe tener en cuenta para la realización del sistema de control.

Para satisfacer los requerimientos que la compañía tecnosur solicita para el diseño de un sistema es necesario realizar un análisis del proceso para saber con que se cuenta en el momento del proceso y si los requerimientos están dentro del alcance que el diseñador puede ofrecer de esta forma poder convenir los cambios y generar el diseño para la elaboración del sistema de control.

Interactuar con los operarios de la laminadora para desarrollar el diseño del sistema de control es vital por que son ellos los que saben cuales son los factores que afectan la tensión en la laminadora, factores los cuales son tenidos en cuenta dentro del diseño generando con un ello un valor agregado que genera gran impacto en el momento de la entrega del diseño ya que estos factores no fueron tenidos en cuenta en la elaboración de los requerimientos entregados por la compañía.

Tener en cuenta que existen programas computacionales que ofrecen mayor precisión y calidad en el momento de hacer sintonía de los parámetros PID ayuda para dar garantía que los valores encontrados del PID que se sugiere sean utilizados para la implementación del control de la tensión.

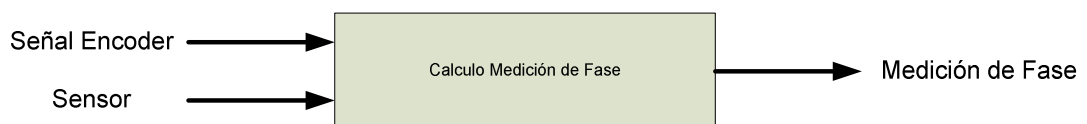
Ingeniárselas con solo los equipos y dispositivos con los que cuenta la compañía para en un futuro dar implementación del sistema de control es un reto que deja gran satisfacción ya que se demuestra que el diseño puede ser implementado en cualquier dispositivo que cumplan con las especificaciones técnicas planteadas sin importar su marca u origen.

## 7. RECOMENDACIONES

- La laminadora 1 tiene la estructura suficiente para que sean implementado dos sistemas mas para el debobinado tanto del poly y la tela ello involucra 2 motores los cuales pueden ser controlados con el mismo PLC y bajo el mismo diseño del sistema de control planteado en este trabajo, aumentando con ello la producción del proceso de laminado.
- Dentro de los requerimientos que exigía la compañía podíamos agregar otro requerimiento el cual era conocer la tendencia en cuanto en la fase que debe existir en las marcas del poly que designa el inicio y la terminación de un pañal.

### CALCULO DE MEDICIÓN DE FASE

Se requiere medir la fase de marquilla a marquilla con precisión alta debido a que las variaciones de fase que se producen en la materia prima son de  $0.1 \text{ cm} \pm 0.2$ , se necesita saber con exactitud cuál es la distancia transcurrida entre estas marquilla para así diagnosticar en qué condiciones se encuentra el polietileno y su producto final.



$$\text{RadioRodillo} = 6.25\text{cm}$$

$$\text{Perimetro} = 2\pi R$$

$$\text{Perimetro} = 2\pi(6.25\text{cm})$$

$$\underline{\text{Perimetro} = 39.26\text{cm}}$$

$$e = \frac{39.26}{2540}$$



$e = 0.015$  Error por pulso generado en el encoder.

En una vuelta del rodillo arrastre 39.26 cm de material, cada vez que el sensor de conteo de marquillas se active este comienza el conteo de pulsos generados por el encoder del motor de arrastre y cuando realiza el siguiente conteo este se desactiva parando el conteo de los pulsos generados por el encoder. Con estos pulsos podremos saber la distancia transcurrió entre marquilla y marquilla, por

**ejemplo:**

Si el conteo del encoder genera 3000 pulsos entre marquilla y marquilla la distancia recorrida es la siguiente:

Si 2450 pulsos ---- 39.26 cm  
3000 pulsos ---- D

$$D = \frac{3000 * 39.26 \text{ cm}}{2450}$$

$$\underline{D = 46.37 \text{ cm}}$$

Este resultado nos indica si la distancia entre marquilla y marquilla está dentro de los parámetros de calidad exigidos por la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

CEBOLLADO Fernando. Guía técnica seguridad diseño utilización tensión y equipos: dispositivo de mano a 2 mando, parada de emergencia y puesta en marcha, interacción hombre máquina. España, Universidad de Zaragoza, 2000. P.320

ERONINI, UMEZ. Dinámica de sistemas de control: Introducción al diseño de sistemas automáticos de control. México: Thomson learning 2001. p. 993.

KUO C. Benjamín. Automatic control system: Mathematical modeling of physical system. Wiley: 8 edition 2002. P. 378.

SÁNCHEZ Martínez, VICTORIANO Ángel. Automatización industrial moderna: automatismo y componentes electrónicos y graficet. Bogotá : Alfaomega, 2001. P. 420.

Advanced web tensión, tensión control solution [en línea] a maxcess international company usa: [consultado 09 de Agosto de 2010, 02:18:56 p.m.]. Disponible en internet: <http://suran-stroje.cz/download/magpowr-tension-control-solutions.pdf>

Controladores PID, ajuste empírico [en línea] UNED Madrid: [consultado Viernes, 30 de Julio de 2010, 11:47:29 a.m.]. Disponible en internet: [http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/ajuste\\_empirico.pdf](http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/ajuste_empirico.pdf)

Control pid clásico, método oscilación ziegler-nichols [en línea] CAUT1 Clase 7 [consultado Viernes, 30 de Julio de 2010, 11:40:42 a.m.] disponible en internet: [http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/C08.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C08.pdf)

Control pid clásico, método oscilación ziegler-nichols [en línea] CAUT1 Clase 7 [consultado Viernes, 30 de Julio de 2010, 11:40:42 a.m.] disponible en internet: [http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/C08.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C08.pdf)

Control pid clásico, método oscilación ziegler-nichols [en línea] CAUT1 Clase 7 [consultado Viernes, 30 de Julio de 2010, 11:40:42 a.m.] disponible en internet: [http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase\\_slides\\_download/C08.pdf](http://csd.newcastle.edu.au/SpanishPages/clase_slides_download/C08.pdf)

Graficet (graphe de comande etape transition, cuya traducción literal es gráfico de orden etapa transición) [en línea] iimpi: [consultado Jueves, 27 de Enero de 2011, 06:29:34 p.m.] disponible en internet: <http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/instindustrial/teorico/06ProgramacionBajoGraficet.pdf>

Juego de instrucciones de slc 500 y micrologix 1000 , manual de referencia [consultado 31 de Enero de 2011, 04:33:39 Pm] [en línea] disponible en internet: [http://pad.rbb.usm.cl/doc/6044493/10508\\_CONTROL\\_AUTOMATICO/1747\\_rm001a\\_es\\_p.pdf](http://pad.rbb.usm.cl/doc/6044493/10508_CONTROL_AUTOMATICO/1747_rm001a_es_p.pdf)

Microweb control system mw 90-10-0, control de la tensión con entradas en mV, mA[en línea] [consultado Jueves, 26 de Agosto de 2010, 03:40:54 p.m.] disponible en internet: <http://www.frenosrpm.com/archivos/10-6-2009-182312.pdf>

Modos de marchas y paradas, guía gemma.[consultadoSábado, 22 de Enero de 2011, 03:39:46 p.m. ][en línea] disponibl en internet: <http://linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema10.pdf>

Montalvo better web control [en linea ] Gorham, Maine 04038 USA:[consultado Viernes, 30 de Julio de 2010, 01:25:03 p.m]. Disponible en internet: <http://www.kigeng.com.tw/admin/file/Montalvo%E7%9B%AE%E9%8C%84.pdf>

Portafolio simatic pcs 7 apc, como mejorar el rendimiento de su planta utilizando las herramientas adecuadas del portafolio SIMATIC PCS 7 APC [en linea] ostileche rheinbruckenster:[consultado Domingo, 29 de Agosto de 2010, 03:58:49 p.m.] disponible en internet: [http://www.sea.siemens.com/us/internet-dms/ia/ProcessAutomationComm/ProcessAutomation/Docs2/WP\\_PCS7\\_APC\\_EN.pdf](http://www.sea.siemens.com/us/internet-dms/ia/ProcessAutomationComm/ProcessAutomation/Docs2/WP_PCS7_APC_EN.pdf)

Tensión control system, Wichita control catalogue [en línea][consultado Lunes, 09 de Agosto de 2010, 02:10:28 p.m] disponible en internet : <http://www.wichita.co.uk/pdfs/Wichita%20Tension%20Contol%20Systems%20Catalogue.pdf>

## ANEXO

# RStune para sintonización de P I D

TULIO ANDRES FLOREZ

TECNOSUR

VILLARICA, COLOMBIA

tulioanflo@hotmail.com

*Abstract*— in the following document sets out the concept of parameters Proportional, Integral and derivative, the use of RSTune software for tuning PID controllers and some tips to refine the tuning.

**Resumen**---en el siguiente documento se establecen los concepto de los parámetros Proporcional, Integral y derivativo, la utilización del software RSTUNE para sintonización de controladores PID y algunos tips para afinar la sintonización.

**Palabras claves:** acción proporcional, acción integrativa mas proporcional, acción derivativa, integral y proporcional, Auto Tune.

## I. INTRODUCCIÓN

RSTune es una aplicación de rockwell software que hace que la sintonización del control en lazo cerrado sea fácil y precisa. RSTune también proporciona métodos de análisis en lazo cerrado para ayudar a asegurar ajuste óptimo de los parámetros P I D.

Esta diseñado para la sintonización de PID en:

- PLC-5 ®,
- LC 500 ™,
- MicroLogix 1200/1500
- ControlLogix

RSTune permite:

**Herramientas en la parcela de tiempo:** Hacer zoom, edición, con un promedio, o filtrar los datos en tiempo real de un complemento.

**Soporte OPC:** Ser un cliente OPC (RSLinx 2.1 y superior).

soporte para MicroLogix 1200 y MicroLogix 1500.

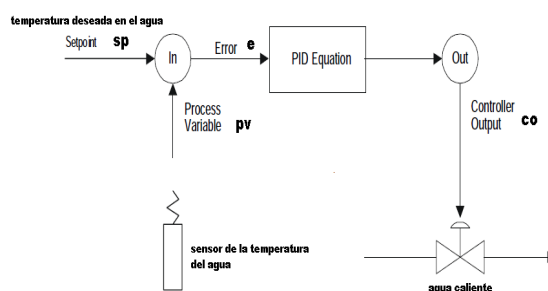
**AutoTune:** Fácil uso en la secuencia AutoTune reduciendo el tiempo necesario para sintonizar un lazo de horas a minutos.

**Categorías de ajuste del lazo PID:** Las categorías pueden ser seleccionadas para el ajuste de carga o de ajuste de consigna de la trama de la simulación.

## II. MARCO TEORICO

Control PID se basa en un conjunto de ecuaciones que determina el valor de la variable controlada "CV" basándose en la diferencia en un punto determinado que se desea "SP" y el valor de la variable del proceso "PV".

$e = SP - PV$ ;  $e = \text{error}$



**dibujo 1 lazo de control para la temperatura.**

Fuente: User's Guide RStune pag 16

Este valor de salida se utiliza para conducir el actuador de control, como una válvula de control, o una unidad de velocidad variable.

Las ecuaciones utilizadas para controlar el bucle contienen varias variables. Las tres variables principales son:

**P Ganancia proporcional:** El cambio en la salida del controlador es proporcional a la variación en el error.

**I Ganancia integral:** El cambio en la salida del controlador es proporcional a la cantidad de tiempo que el error está presente. También se llama reposición.

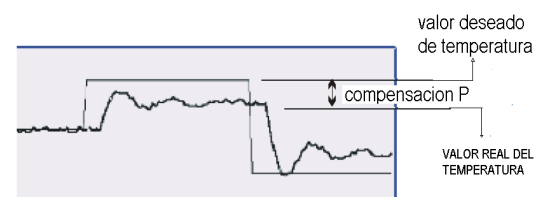
**D derivativa:** El cambio en la salida

del controlador es proporcional a la tasa de cambio del error. También se llama velocidad de reacción.

## CONTROL SOLO PROPORCIONAL (P)

A veces, las aplicaciones utilizan sólo el control proporcional. Control proporcional responde al cambio en el error del sistema.

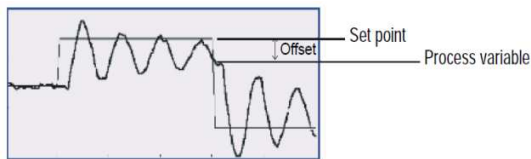
Con el control sólo proporcional, normalmente existe alguna diferencia entre el punto de consigna y la variable de proceso, llamado de compensación.



**dibujo 2 acción proporcional**

Fuente: User's Guide RStune pag 17

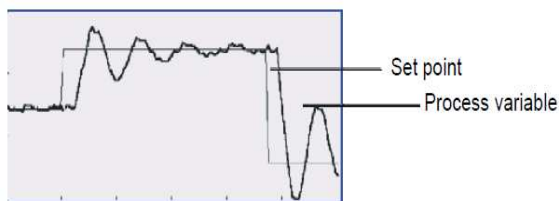
La ganancia proporcional se puede aumentar con el fin de disminuir la cantidad de la compensación. Sin embargo, también Ganancia proporcional puede hacer que el controlador responda agresivamente, y el variable de proceso podría llegar más allá del punto de ajuste y luego continuar a oscilando.



**dibujo 3 respuestas a las posibles cambios de la acción proporcional**  
Fuente: User's Guide RStune pag 17

## CONTROL PROPORCIONAL MÁS INTEGRAL (PI)

Dado que el control sólo proporcional normalmente tiene compensación, la acción de control proporcional más integral (PI) se puede utilizar para eliminar la desviación y llevar la variable de proceso muy cerca del punto de ajuste.



**dibujo 4 acción proporcional mas integrativo.**  
Fuente: User's Guide RStune pag 18

Con la acción integral, el cambio en la salida del controlador es proporcional a la cantidad de tiempo que el error está presente.

En la ilustración anterior, la ganancia proporcional responde al cambio del punto de ajuste, y como el tiempo pasa, la acción integral elimina el desplazamiento y lleva la variable del proceso de vuelta a punto de ajuste.

La cantidad apropiada de acción integral debe ser:

Si hay muy poca acción integral, el sistema será lento y tardan demasiado en llegar al punto de ajuste.

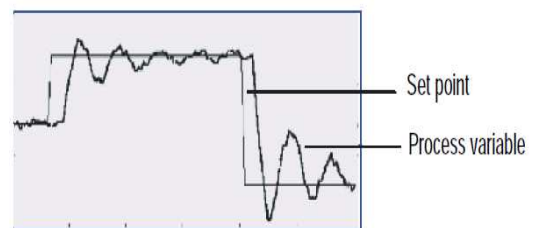
Si hay demasiada acción integral, el sistema podría terminar oscilante y nunca establecerse.

## CONTROL PROPORCIONAL MÁS INTEGRAL Y DERIVATIVO (PID).

Con la acción derivativa, el cambio en la salida del controlador es proporcional a la variación en el tipo de cambio del error.

Se puede compensar el cambio en la variable del proceso.

Por lo tanto la acción, derivativa inhibe los cambios rápidos de la medición más que la acción proporcional.



**dibujo 5 acción pid**  
Fuente: User's Guide RStune pag 19

## RSTune

RSTune utiliza un método de respuesta de frecuencia de avanzada junto con un sistema experto para determinar

los mejores parámetros de ajuste para los bucles de su control.

RSTune puede sintonizar el lazo de los datos recogidos de un solo "golpe" o el pulso (como un cambio del punto de ajuste) en el modo automático o manual.

RSTune convierte los datos de respuesta de frecuencia. Teniendo en cuenta que la configuración de PID calculada son sólo tan buenos como los datos recogidos para construir la respuesta de frecuencia.

La respuesta de frecuencia única representa un proceso "firma "que identifica a ese proceso en particular. RSTune se ejecuta un sistema experto para encontrar el mejor parámetro de ajuste y también para crear un modelo del proceso. El modelado permite poderosa análisis que se realiza en el proceso.

### TIPOS DE TUNING

Varios tipos o métodos de ajuste existen para ajustar de manera óptima, en función de la aplicación y el tipo de cambios a los que el sistema podría tener que responder.

RSTune permite elegir entre dos tipos de ajuste:

- ajuste de carga
- Punto de Ajuste de sintonía

Para la mayoría de los bucles, se recomienda utilizar PI o PID más rápido de ajuste de carga. Ajuste de carga proporciona una mejor respuesta a la carga. Sin embargo, si se necesita afinación que no da el exceso, se utiliza conjunto de sintonía punto.

Set point (o Lambda) coincide con la respuesta del punto de ajuste a un tiempo constante de primer orden (o retraso de tiempo) que se introduce. La respuesta del sistema es el primer retraso de los procesos de tiempo muerto.

Este método es popular en ciertas aplicaciones, tales como tensión de papel, donde el rebasamiento no es aceptable.

Con el ajuste del punto de consigna la respuesta de lazo cerrado debe ser el tiempo de proceso identificados muertos más el tiempo objetivo de primer orden constante (tiempo lambda) se introduce. El bucle alcanzará el punto de ajuste en aproximadamente 4 lambdas.

### III. Instalación de rslinx para rstune

Para tener RSTune comunicar a su procesador, debe tener RSLinx configurado y funcionando.

Para cada procesador que se comunicará con RSTune, es necesario tener un RSLinx DDE / OPC

Para configurar un bucle RSTune para comunicarse con el procesador:

- RSLinx Instalar.
- . Configurar RSLinx para comunicarse con su procesador.
- Definir un tema RSLinx RSTune que puede utilizar para comunicarse con su PLC.
- instale rstune

#### IV. Funcionamiento del software RStune

Para iniciar el software RSTune en un PC:

1. Haga clic en Inicio.
2. Seleccione Programas> Rockwell RSTune> Software.
3. RSTune Seleccionar.
4. La ventana principal se abre.



**dibujo 6 ventana principal de RStune**  
Fuente:User's Guide RStune pag 5

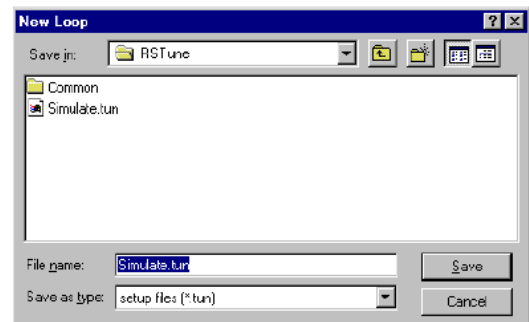
Desde esta ventana se puede definir un nuevo bucle, seleccione un lazo existente a cualquier melodía o modificar o eliminar un bucle.

#### V. CONFIGURACIÓN COMUNICARSE CON EL PROCESADOR DEL PLC

En RSTune, primero debe proporcionar el procesador de base y la información de direccionamiento

para que cada bucle desee optimizar.

1. RSTune Inicio.
2. En la ventana RSTune principal, haga clic en Nuevo Loop.
3. La nueva caja de bucle de diálogo se abre.



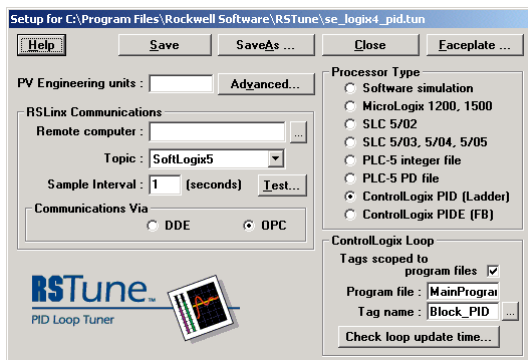
**dibujo 7 ventana para establecer un nuevo lazo de control**

Fuente:User's Guide RStune pag 9

4. Escriba un nombre para el bucle en el cuadro Nombre de archivo. La extensión de archivo. tun se añade de forma automática.

5. Haga clic en Guardar. El programa de instalación RSTune cuadro de diálogo se abre, como se muestra aquí.





dibujo 8 ventana para la confiracion de lazo de control.

Fuente:User's Guide RStune pag 6

6. Elija el tipo de procesador. La información sobre el cuadro de diálogo cambia para mostrar la disposición opciones para el procesador seleccionado.

7. En Comunicaciones Vía, seleccione el tipo de comunicaciones que desea utilizar - OPC o DDE ..

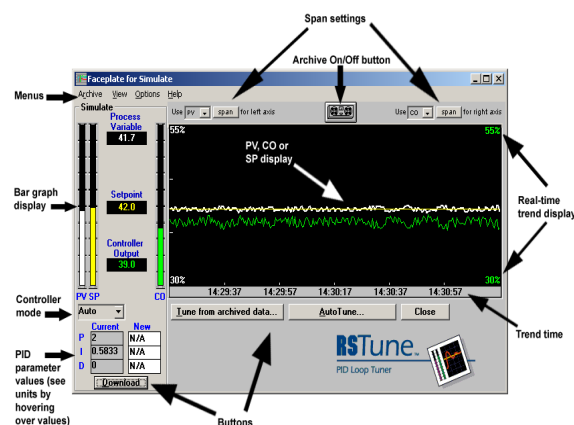
9. Navegue a través de la red para buscar el equipo remoto al que desea establecer comunicaciones. Haga doble clic en el nombre del equipo o seleccione el nombre del equipo y haga clic en Aceptar.

10. Completar las áreas restantes del cuadro de diálogo.

## VI. INICIO RÁPIDO PARA OBTENER LOS PARAMETROS PID.

### ➤ SINTONIZACION DE UN LAZO CERRADO

1.Haga clic en la placa frontal para comunicarse con su lazo PID o software de simulación. La placa frontal Se abre la ventana.



dibujo 9 ventan de simulación del laza de control

**Menús:** Accede a las opciones y características:

\* **Span configuración:** Permite cambios de los rangos de pantalla y colores

\* **Archivo botón ON / OFF:** Le permite a su vez el archivador y se apaga con un solo clic del botón.

\* **tendencia en tiempo real de visualización:** Muestra los datos en tiempo real de tu procesador

\* **PV, CO, o la pantalla SP:** Si mantiene el cursor sobre cualquier punto de la pantalla de tendencias en tiempo real, el PV, CO, o SP valores en ese momento se muestran. Los valores que se muestran dependen de la configuración de Span.

\* **Botones:** Realizar diversos comandos

\***valores de los parámetros PID:**  
Los valores del PID procesador actual y los nuevos valores que se descargan en el proceso de descarga, si es seleccionado.

\* **Controlador modo:** El modo actual controlador, automático o manual.

2. Click Auto Tune.

3. seguir la instrucciones entregadas por el Auto Tune

Para cada pregunta en el área de Realización Auto Tune secuencia, la ayuda está disponible haciendo clic en el Botón de ayuda. La información detallada de Auto Tune se proporciona en "Uso de Auto Tune para recopilar los datos".

4. Cuando haya completado la secuencia Auto Tune, muestra RSTune sugirió PID de ajuste parámetros, la ventana de datos en tiempo para el lazo, y el factor de seguridad, derivados, y el filtro de la información.

5. Haga clic en Descargar para enviar los parámetros PID para el procesador del PLC escogido o la simulación.

## VII. GUIA PARA OPTIMIZAR EL LAZO DE CONTROL.

Estas directrices le ayudarán a la optimización de bucles e identificar los problemas del equipo de proceso. Ellos son especialmente útil para un lazo de control que es difícil de ajustar.

Mientras afina el controlador puede atenuar las perturbaciones causadas por problemas en el equipo proceso si no, corregir, estos problemas pueden resultar en un equipo más grave, el proceso o los problemas de seguridad más tiempo.

Para comprobar completamente el sistema de control:

1. Recopilar datos de variables de proceso desde hace algún tiempo con el controlador en el Manual.

2. Esté atento a las perturbaciones de carga periódica.

3. Si se producen perturbaciones de carga, trate de identificar las fuentes. Minimizar o eliminar la carga perturbaciones le permitirá al controlador para hacer un trabajo mucho mejor.

4. Recoger variable de proceso y datos de control de salida con el controlador en automático en condiciones normales.

las condiciones de funcionamiento.

☐ la salida del regulador esta en el extremo del Span?

☐ el funcionamiento de la válvula esta cerca de su estilización? Si es así, la válvula o elemento final de control puede ser necesario cambiar

de tamaño para dar una mejor resolución de salida del controlador.

\* Realice la comprobación de la histéresis. Consulte "histéresis Check " para obtener más información.

5. Realizar una prueba de lazo abierto paso (modo manual) en varios lugares diferentes en el controlador rango de salida, por ejemplo, el 20%, 40%, 60% y 80% (véase el "Manual del Contralor (Open Circular) "para más información).

\* Compruebe los parámetros de ajuste y el nuevo modelo identificado en la ventana Modelo de proceso (ver "Opciones de la ventana del modelo de procesos").

2 Si los modelos (o los parámetros de sintonización PID) en cada paso significativamente diferente?

Si los parámetros son más que un factor diferente de dos, considere tratando de linealizar el bucle. Si no se puede linealizar el bucle, utilice los valores de ajuste más conservadores.

6. Realizar una prueba de lazo abierto paso en la dirección opuesta, como en el paso 5.

\* Comparar los parámetros PID de sintonía o los modelos identificados en la ventana Procesar modelo.

\* ¿El proceso de responder de manera diferente en la dirección ascendente con respecto al inicial? Si es así, puede reducir o eliminar la

discrepancia? Si no, utilice el ajuste de los valores más conservadores.

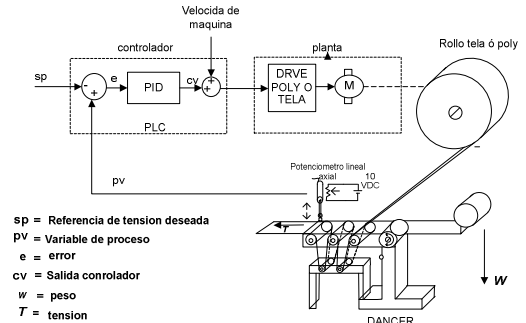
Para sintonizar un bucle, es importante tener en cuenta otros factores que pueden afectar el lazo de control. Por ejemplo:

Los sensores deben estar correctamente ubicados, calibrado correctamente, y capaz de responder rápidamente lo suficiente como para esperar cambios en el proceso.

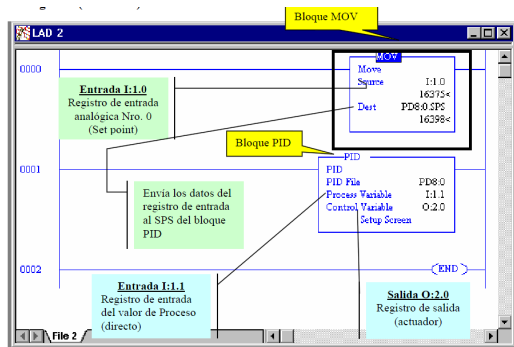
Las válvulas deben ser del tamaño correcto.

## Ejemplo practico

La laminadora 2 cuenta con un sistema de control en lazo cerrado como se muestra en la ilustración.

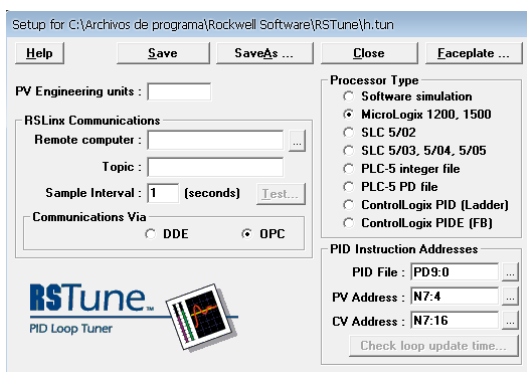


Para obtener los parámetros PID mediante RStune se procede de la siguiente manera.



dibujo 10 ladder para la implementación del pid

Ejecute RStune y siga el procedimiento descrito en este artículo.



dibujo 11 venta de configuración

Observe que los parámetros escogidos son:

PD9:0

PV ADDRESS: N7:4

CV ADDRESS N7:16

Estos registros son aquellos con I que opera la laminadora ver ladder de la laminadora 2 para ejemplos prácticos utilizaremos los parámetros descritos en la ilustración tal:

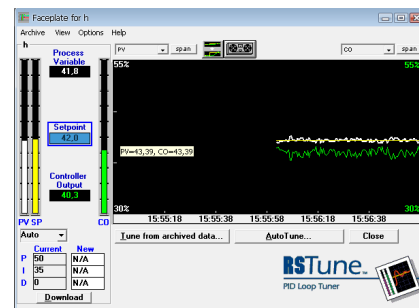
PD8:0

PV ADDRESS I: 1.1

CV ADDRESS N7:16

Hacemos click en faceplate

Mostrara la siguiente ventana

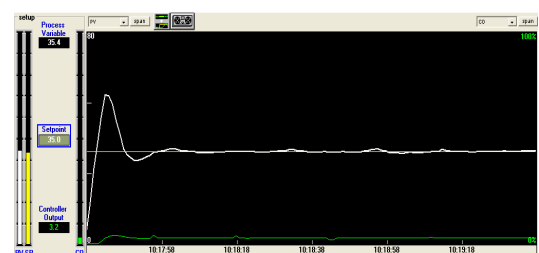


dibujo 12 comportamiento del sistema

Establecemos un setpoint en 32

Damos click en Auto Tune y procedemos a seguir las instrucciones que se nos indica.

Una vez acabado las instrucciones debemos de obtener el siguiente grafico



dibujo 13 comportamiento de del sistema con la sintonización del PID.

Parámetros encontrados con auto tune

P=0.1

$I=0.1$

$D=0.9$

Procedemos a cargarlos.

### **CONCLUSIONES**

Los controladores PID se usan ampliamente en control industrial. Desde una perspectiva moderna, un controlador PID es simplemente un

controlador de segundo orden con integración.

los controladores PID se ajustaban en términos de sus componentes P, I D.

La estructura PID ha mostrado empíricamente ofrecer suficiente flexibilidad para dar excelentes resultados en muchas aplicaciones.